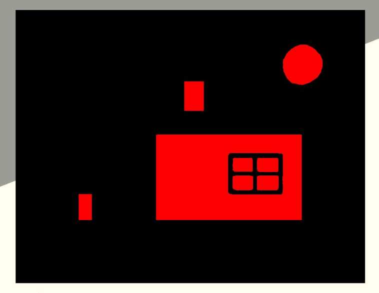


В. Ф. САМОЙЛОВ
Б. П. ХРОМОЙ

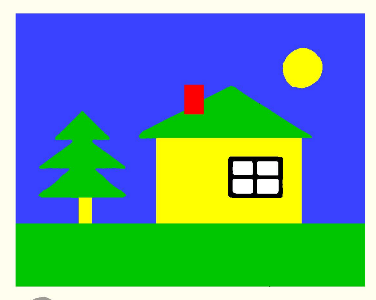
Системы цветного телевидения







R. КРАСНЫЙ



O. ОРИГИНАЛ



G. ЗЕЛЕНЫЙ



B. СИНИЙ

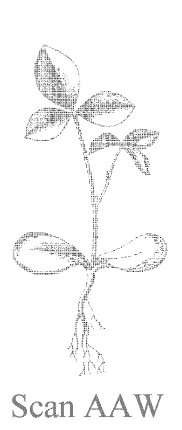
МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 760

В. Ф. САМОЙЛОВ, Б. П. ХРОМОЙ

СИСТЕМЫ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Издание 2-е, переработанное и дополненное





«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА — 1971

6Ф3
С 17
УДК 621.397-2

Самойлов В. Ф., Хромой Б. П.

С 17 Системы цветного телевидения, изд. 2-е, М., «Энергия», 1971.

72 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 760).

Книга имеет целью ознакомить читателя с системами цветного телевидения NTSC (США), PAL (ФРГ) и SECAM (Франция и СССР). В книге рассматриваются общие для всех систем принципы создания цветного изображения, элементы приемной и передающей аппаратуры. Значительное внимание уделяется рассмотрению особенностей работы отдельных узлов цветных телевизионных приемников. В заключение дается сравнительная оценка систем цветного телевидения NTSC, SECAM и PAL. Книга рассчитана на читателей, хорошо знакомых с основами радиотехники и телевидения.

3-4-5

329-70 **6Ф3**

Самойлов Владимир Федорович и Хромой Борис Петрович

Системы цветного телевидения

Редактор *А. Н. Исаев* Обложка художника *Н. Т. Ярешко*
Технический редактор *М. П. Осипова* Корректор *З. Б. Шлайфер*

Сдано в набор 16/IX 1970 г. Подп. к печати 7/I 1971 г. Т-03003
Формат 84 × 108¹/₃₂ Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 3,78 Уч.-изд. л. 5,01
Тираж 60 000 экз. Цена 21 коп. Зак. 123

Издательство «Энергия». Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Типография изд-ва «Московская правда», Потаповский пер., 3. Зак. 3423
Отпечатано в Московской типографии № 10 Главполиграфпрома.
Шлюзовая наб., д. 10 Зак. 119.

ВВЕДЕНИЕ

Одна из основных задач современной техники телевидения — организация регулярного цветного телевизионного вещания — в теоретическом и инженерном плане уже в значительной степени решена.

В процессе решения этой задачи было предложено несколько десятков вариантов систем цветного телевидения. Из этого большого числа систем надо было выбрать для применения в радиовещании наиболее выгодную с технико-экономической точки зрения. Такая система при высоком качестве изображения должна быть возможно более надежной в эксплуатации, простой в обращении (особенно на месте приема); цветной телевизионный приемник должен быть недорогим. Важно, чтобы качество изображения — правильная передача цветов — практически не зависело от изменения в пределах нормы в процессе эксплуатации характеристик полного тракта, передающего телевизионную информацию.

В настоящее время существуют две основные разновидности вещательных систем цветного телевидения: американская система NTSC (National Televsion System Committee — национальный комитет телевизионной системы) и система SECAM (Sequence de Couleurs Avec Mémoire — последовательная передача цветов с запоминанием).

Наши научные учреждения, работающие над проблемой цветного телевидения, внесли существенный вклад в теорию и практику этой отрасли техники. В течение ряда лет Московский телевизионный центр, снабженный необходимой аппаратурой цветного телевидения отечественного производства, проводил регулярные испытательные передачи цветного телевидения как по системе поочередного, так и по системе одновременного сложения цветов. Советские ученые и инженеры разработали несколько вариантов систем цветного телевидения, в том числе отечественную систему НИИР, получившую позднее условное наименование SECAM-IV. Эти теоретические и экспериментальные работы легли в основу соглашения с французскими учеными и инженерами в области совместного развития и разработки цветной телевизионной системы.

Работа в рамках этого соглашения проходила на основе системы SECAM. Следует подчеркнуть, что советские специалисты приняли активное участие в испытаниях этой и других систем, разработали разнообразные узлы аппаратуры — приемники, передающие устройства и др.

С 1 октября 1967 г. одновременно в СССР и Франции началось регулярное цветное телевизионное вещание по системе SECAM.

Кроме Франции и СССР, система SECAM сейчас принята для вещания в ГДР, ЧССР, Болгарии, Венгрии, странах Северной Африки.

Система цветного телевидения NTSC (и ее разновидность PAL) находит свое распространение, кроме США, еще и в Японии, Канаде, ФРГ, Англии и др.

Все три системы цветного телевидения — NTSC, SECAM и PAL, — принципы действия и основные особенности и характеристики которых будут рассмотрены в этой книге, имеют многие практически совершенно идентичные узлы аппаратуры как на передающем, так и на приемном конце телевизионного тракта. Способы преобразования светового изображения в электрический сигнал, формирование сигнала яркости и сигналов цветности, выходные устройства в цветном телевизоре, обеспечивающие цветной кинескоп необходимыми управляющими сигналами, — все это является одинаковыми для любой из систем и практически не зависит от выбора системы.

Существенная и принципиальная разница в устройстве систем цветного телевидения заключается в способах передачи цветной телевизионной информации от передающей камеры к приемнику.

При выборе того или другого метода передачи информации создатели цветных систем пытались найти наилучший компромисс между возможно большей простотой системы и наилучшими показателями ее работы: помехоустойчивостью, хорошим воспроизведением цветов и пр.

Надо сказать, что перечисленные системы цветного телевидения несколько отличаются друг от друга качественными показателями работы, — если, например, одна имеет относительно высокую помехоустойчивость, то другая по сравнению с первой менее подвержена искажениям цветов и т. д. Во второй части этой книги рассматриваются методы передачи информации в трех основных системах цветного телевидения — NTSC, SECAM и PAL, сопоставляются достоинства и недостатки этих методов.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, знакомых с основами телевизионной техники. Авторы не претендуют на глубокое инженерно-теоретическое изложение вопросов техники цветного телевидения.

СОЗДАНИЕ ЦВЕТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Роль цвета в телевидении

Техника цветного телевидения значительно сложнее, чем черно-белого. Однако существенные преимущества цветного изображения оправдывают это усложнение. Назовем основные из этих преимуществ. Во-первых, цветное изображение обладает несравненно большей художественной выразительностью, чем черно-белое. Хорошая цветная картинка более приятна, выразительна и впечатляюща.

Читатель, даже еще пока не видевший цветного телевизионного изображения, может представить себе на примере кино, насколько цветной кинофильм (особенно видовой) более выразителен по сравнению с его черно-белым вариантом.

Сейчас на черно-белом телевидении ведутся иногда передачи, для которых цвет является весьма существенной компонентой — рассказы о жизни и творчестве мастеров кисти, путешествия по живописным местам и т. п. Без цвета эти программы выглядят в большинстве случаев тускло и малоинтересно. И насколько все было бы живее и выразительнее, если бы, скажем, передача о художнике И. Е. Репине была цветной!

Передача первомайских торжеств, спортивных праздников, фестивалей будет несравненно более интересной и увлекательной на цветном телевизионном экране.

Следующим важным преимуществом цветного телевидения является значительно лучшая отчетливость и разборчивость передаваемого изображения, большая определенность очертаний объектов на экране. Это явление объясняется тем, что цвет для человека является дополнительным средством распознавания окружающей обстановки. Простой пример: два соседних участка изображения, имеющих одинаковую яркость, но разный цвет, на черно-белом экране сольются вместе, а на цветном будут видны как отдельные.

Следует далее указать на интересную особенность цветного изображения — оно кажется стереоскопичным, объемным. Чтобы убедиться в этом, стоит только посмотреть, например пейзажи наших великих художников — И. И. Левитана и И. И. Шишкина. Умелым подбором цветов, их насыщенности создается необыкновенная глубина изображения.

Таким образом, цветное изображение по своей художественности, отчетливости, объемности стоит значительно выше черно-белого изображения. И соответствующее усложнение техники вполне окупается этими важными качественными показателями.

Цветовой треугольник

Окружающая нас природа наполнена обширной палитрой цветовых оттенков. Ученые установили, что нормальное человеческое зрение различает до 180 цветовых оттенков. Означает ли это, что для пе-

редачи всей гаммы цветов нужно иметь канал связи, обладающий в 180 раз большей пропускной способностью, чем обычный черно-белый канал? К счастью, это не так. Замечательное свойство глаза — трехцветное зрение — позволяет обходиться только трехкратным увеличением пропускной способности цветного канала по сравнению с черно-белым (применение специальных технических мер, о которых рассказывается дальше, дает возможность еще более сократить необходимую пропускную способность).

Упомянутое свойство зрения заключается в следующем. Правильно выбрав три основных источника цвета, а именно: красный (*R*), зеленый (*G*) и синий (*B*)[1], и смешав их в определенных пропорциях, можно получить любой из наблюдаемых человеком цветовых оттенков. Таким образом, отпадает необходимость в непосредственной передаче всех цветов. Достаточно передавать информацию только о количественном соотношении трех основных цветов, синтез которых в приемном устройстве дает возможность получить нужной раскраски цветное изображение, соответствующее оригиналу.

Для пояснения сказанного представим себе такое устройство. В вершинах равностороннего треугольника *RGB* (рис. 1) расположены три цветных источника света — красный, зеленый и синий. Если включить только один из источников (например, *R*), то по мере удаления от этого источника интенсивность излучаемого им света будет, естественно, ослабевать. Для простоты дальнейших рассуждений условимся, что интенсивность света, исходящего от источника *R*, в точках *G* и *B* практически снижается до нуля (для этого треугольник *RGB* должен быть достаточно большим). Это условие должно быть справедливо также и для источников *G* и *B*, т. е. интенсивность излучаемого им света в противоположных вершинах также равна нулю.

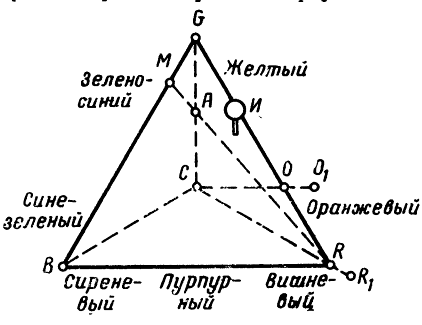


Рис. 1. Цветовой треугольник.

Для проведения ряда опытов, иллюстрирующих законы сложения цветов, воспользуемся пустотелым белым матовым стеклянным шаром *И* (для удобства перемещения снабженным ручкой). Этот шар будет служить нам своеобразным индикатором.

Первый опыт. Включаем поочередно только один из источников света, например *R*. Шар *И*, расположенный вблизи источника *R*, нальется красным светом. По мере удаления от *R* по линии *RG* или *RB* шар, оставаясь красным, будет темнеть и в точке *G* (или *B*) станет черным.

[1] Такое обозначение трех основных цветов принято у нас и за границей: красный Red (англ.), Rot (нем.), Rouge (фр.); зеленый Green (англ.), Grün (нем.), Vert (фр.); синий Blue (англ.), Blau (нем.), Bleu (фр.).

Расхождение в первых буквах имеется только во французском слове Vert (зеленый). Поэтому во Франции основные три цвета часто обозначаются *R, V, B*.

Второй опыт. Включим два источника света *R* и *G*. Очевидно, что вблизи этих источников шар *И* будет либо красным, либо зеленым. В промежуточных же положениях на линии *RG* цвет шара будет меняться. Эксперимент показывает следующее: при движении шара от источника *R* к источнику *G* его цвет будет плавно переходить от красного к оранжевому, от оранжевого к желтому и от желтого к зеленому. Таким образом, оранжевый и желтый цвета можно получить сложением (смесью) двух цветов — красного и зеленого, причем оранжевый цвет отличается, например, от желтого большим количеством красного.

Третий опыт. Включим два источника света *B* и *G*, а шар *И* поместим на линию *BG*. При перемещении шара от *B* к *G* его цвет будет плавно изменяться от синего к сине-зеленому, от сине-зеленого к зелено-синему, от зелено-синего к зеленому.

Четвертый опыт. Перемещаясь по линии *BR*, шар *И* будет последовательно окрашиваться в синий, сиреневый, пурпурный, вишневый и красный цвета.

Колориметрия[1] — наука об измерении цветов — установила, что на сторонах *BG*, *GR* и *BR* треугольника *RGB* расположены практически все насыщенные цвета, различаемые человеческим глазом.

Цвета, расположенные на линии *RG*, художники называют «теплыми», на линии *BG* — «холодными». В самом деле, эти названия отражают сущность соответствующих цветов: яркие, солнечные, жизнерадостные сюжеты изображаются в основном «теплой» палитрой красного, оранжевого, желтого, изумрудного цветов. Для вечерних сумерек, зимнего холодного пейзажа, разбушевавшегося океана более подходят «холодные» сине-зеленые оттенки.

Пятый опыт. Включив все три источника, можно внутри треугольника *RGB* найти такую точку *C*, в которой контрольный шар будет белым. Таким образом, белый цвет (или свет) может быть получен сложением в определенных количествах трех основных цветов: красного, зеленого и синего.

Шестой опыт. При перемещении шара по линии *RC* его красный цвет не будет изменяться. Будет изменяться только насыщенность красного цвета, т. е. разбавленность красного белым. В точке *R* шар будет насыщенно красным. По мере приближения к белой точке *C* красный цвет будет «выцветать», переходя через оттенки розового. В точке *C* насыщенность упадет до нуля, шар станет белым.

Точно так же при перемещении шара по линии *BC* его цвет не изменится (останется синим). Ослабляется только насыщенность. На этой линии шар от насыщенно синего пройдет через голубые оттенки, становясь в точке *C* совершенно белым.

Такая же картина имеет место для линии *GC* и вообще для всех других отрезков прямой, соединяющих точку *C* белого цвета (света) со всеми точками на сторонах цветового треугольника *RGB*. Например, двигаясь от насыщенно оранжевой точки по линии *OC*, шар не будет изменять оранжевого цвета. Будет меняться только насыщенность.

Таким подбором желательной насыщенности пользуются на практике художники и маляры, добавляя в краску белила. При этом, очевидно, цвет краски не меняется, изменяется только насыщенность.

Важно отметить, что реальные источники света не имеют 100%-ной насыщенности. Какой бы красный (зеленый, синий) источ-

---

[1] Color (лат.) — цвет.

ник мы ни выбирали — цветной фонарик, катодолюминофор кинескопа — все равно насыщенность этих источников всегда менее 100%. Колориметрия установила, что 100%-ная насыщенность теоретически имеет место только в случае, когда источник излучает энергию строго одной длины волны (или частоты)[1].

Поскольку увеличение насыщенности (рис. 1) происходит по мере продвижения по прямой к точке R, например по прямой CR, а точка R не имеет еще 100%-ной насыщенности, то такая насыщенность достигается где-то в точке R_1, лежащей от точки C далее, чем точка R. Точка R_1 соответствует источнику монохроматического[2] цвета.

Точно так же обстоит дело и с неосновными цветами. Например, точка со 100%-ной насыщенностью оранжевого монохроматического цвета находится в точке O_1, отстоящей от C далее, чем O.

Соединив все монохроматические точки R_1, O_1 сплошной кривой, получим так называемый локус[3], на котором расположены все цвета со 100%-ной насыщенностью.

Поясним теперь, как при помощи трех основных единичных цветов — R, G и B — можно получить цвет для любой точки, лежащей внутри цветового треугольника. Для этой цели возьмем, например, точку A (рис. 1). Для определения составляющих цвета проведем прямую MR, проходящую через точку A. Цвет точки M является смесью G и B, причем в отношении, обратно пропорциональном отрезкам MG и BM. В этом случае цвет точки M определяется выражением:

$$M = \frac{\text{отр.}\,BM}{\text{отр.}\,BG}G + \frac{\text{отр.}\,MA}{\text{отр.}\,BG}B.$$

Соответственно цвет точки A можно теперь представить как сумму цветов точек M и R в соответствующих пропорциях:

$$A = \frac{\text{отр.}\,AR}{\text{отр.}\,MR}M + \frac{\text{отр.}\,MA}{\text{отр.}\,MR}R,$$

или

$$A = \frac{\text{отр.}\,AR}{\text{отр.}\,MR}\,\frac{\text{отр.}\,BM}{\text{отр.}\,BG}G + \frac{\text{отр.}\,AR}{\text{отр.}\,MR}\,\frac{\text{отр.}\,MG}{\text{отр.}\,BG}B + \frac{\text{отр.}\,MA}{\text{отр.}\,MR}R. \quad (1)$$

Для пояснения смысла полученного выражения приведем числовой пример

Пусть для точки A отр. $\frac{BM}{BG} = 0{,}8$; отр. $\frac{MG}{BG} = 0{,}2$; отр. $\frac{MA}{MR} = 0{,}1$; отр. $\frac{AR}{MR} = 0{,}9$.

Из выражения (1) $A = 0{,}9 \cdot 0{,}8 \cdot G + 0{,}9 \cdot 0{,}2\, B + 0{,}1\, R = 0{,}72\, G + 0{,}18\,\text{B} + 0{,}1\, R$, т. е. цвет точки A содержит 72% зеленого, 18% синего и 10% красного.

---

[1] К такому источнику света, имеющему насыщенность, близкую к 100%, можно отнести лазер, излучающий энергию практически на одной длине волны.

[2] Монохроматический (греч.) — одноцветный.

[3] Локус (лат.) — место.

Цветовой график

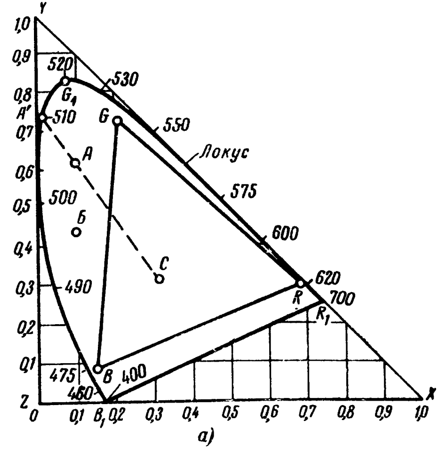
В целях упрощения цветовых расчетов Международный комитет по освещению (МКО) в 1931 г. принял новую, повсеместно сейчас используемую систему единиц, так называемую колориметрическую систему *XYZ*. Переход от треугольника *RGB* (рис. 1) к треугольнику *XYZ* можно найти в ряде специальных руководств (например, М. М. Гуревич, Цвет и его измерение, Изд-во АН СССР, 1950).

Диаграмма цветности (она называется цветовым графиком *XYZ*) изображена на рис. 2, *а*. На точках локуса указаны длины волн в миллимикронах, соответствующие данному монохроматическому излучению.

Многочисленные эксперименты позволили всю площадь локуса условно разделить на отдельные участки различного цвета (рис. 2, *б*). Следует, однако, иметь в виду, что реальные границы участков не выражены так резко, как показано на этом рисунке.

Подковообразный локус вытянут в верхней части. Нижняя часть B_1R_1 (между синим и красным), соединенная отрезком прямой линии, называется линией пурпурных цветов. Человеческий глаз воспринимает лучистую энергию как свет в диапазоне волн от 400 *ммк* (фиолетовый) до 700 *ммк* (красный). Таким образом, на овальной части локуса, проходящей через красную, зеленую и синюю области, лежат точки цветов, соответствующих цветам монохроматических излучений диапазона воспринимаемых глазом длин волн. Цвета, лежащие на пурпурной линии B_1R_1, не могут быть представлены в виде одного какого-либо монохроматического излучения. Этот участок соответствует сумме двух излучений — синего и красного монохроматического света.

Вершины треугольника, *RGB*, находящегося внутри локуса, соответствуют трем основным цветам на экране цветного телевизора.



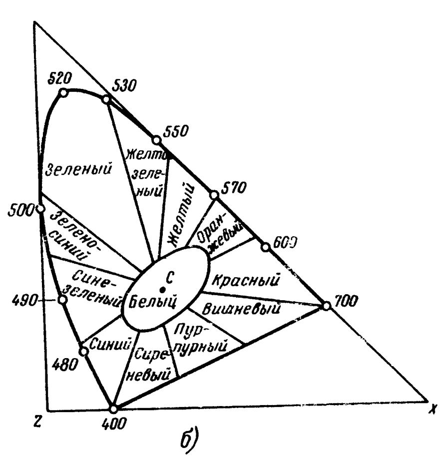


Рис. 2. Цветовой график

а — расположение локуса и цветового треугольника; *б* — расположение цветов внутри локуса.

Чем больше площадь треугольника RGB, находящегося внутри локуса, тем более насыщенные цвета можно получить сложением основных цветов RGB этого треугольника. Например, цветовой треугольник RGB, показанный на рис. 2, *а*, не позволяет при помощи данных основных цветов R, G и B воспроизвести насыщенность точек *А*, *Б*, лежащих вне площади этого треугольника. Вытянутая форма локуса подсказывает целесообразность расположения вершин R, G и B как можно ближе к точкам локуса с длинами волн 700, 520 и 400 *ммк*. Однако технические трудности не позволяют выполнить это требование для светофильтров, передающих устройств и цветных катодолюминофоров.

Вытянутая форма локуса является также причиной того, что выбор любой другой тройки основных цветов (т. е. отказ от R, G, B) будет менее эффективным по использованию площади локуса (например, D, E, F на рис. 3).

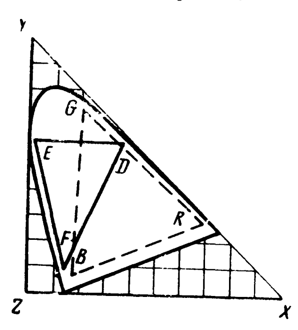


Рис. 3. Расположение цветовых треугольников RGB и DEF внутри локуса.

Из изложенных кратко принципов сложения цветов следует, что любой источник света может полностью характеризоваться следующими параметрами: цветовым тоном, насыщенностью и яркостью. Качество цвета характеризуется его цветностью — цветовым тоном и насыщенностью. Яркость является количественной мерой цвета. Для нахождения первых двух параметров, например, для источника A (рис. 2, *а*) нужно провести прямую через эту точку и «белую» точку C. Пересечение этой прямой с локусом (в точке A_1) дает ответ о цветовом тоне источника — зеленый; с эквивалентной длиной волны монохроматического излучения $\lambda = 510$ *ммк*. Отношение отрезков $AC/A'C$ может служить мерой цветовой насыщенности этого источника.

Яркость исследуемого источника при помощи цветового графика не определяется и находится особо.

Одновременное и поочередное сложение цветов

В цветном телевидении используются два способа сложения цветов для получения цветного изображения: одновременный и поочередный.

Принцип одновременного сложения цветов легко продемонстрировать при помощи трех цветных проекционных фонариков — красного, зеленого и синего (см. стр. 4 обложки). Конусы света от этих фонариков направляются на экран *Э*, где они образуют фигуру из трех частично перекрывающихся кругов. В попарно перекрывающихся областях получается оранжевая, сине-зеленая и пурпурная окраска. Сложение трех цветов (в правильной пропорции) в центре фигуры дает белый цвет. Поскольку три цветных потока падают на экран одновременно, такой способ сложения цветов и называется одновременным.

Для иллюстрации принципа поочередного сложения цветов воспользуемся проекционным фонариком *Ф*, излучающим конус белого света (см. стр. 3 обложки). Поместив перед объективом фонарика

вращающийся диск со светофильтрами, получим на экране Э поочередное сложение цветов. Скорость вращения этого диска должна быть достаточной большой, чтобы на экране не было заметно мельканий. Светофильтры представляют собой прозрачную пленку (часто целлофановую), окрашенную в тот или иной цвет.

Если вращающийся диск состоит, например, из двух светофильтров — красного и зеленого, то видимое глазом на экране светлое пятно будет оранжевым или желтым в зависимости от количественного соотношения этих двух составляющих. Точно так же при любой другой паре светофильтров получится сложение цветов, соответствующее цветовому графику на рис. 2.

Использование вращающегося диска, содержащего три светофильтра: *R, G* и *B,* при правильно выбранных количественных соотношениях этих цветов создаст на экране белый круг[1].

На первых порах развития цветного телевидения широко использовался метод поочередного сложения цветов для создания цветного изображения, имеющий важное достоинство — простоту. Однако, как выяснилось в дальнейшем, для радиовещательного телевидения более выгодным с технико-экономической точки зрения оказался метод одновременного сложения цветов. Все современные радиовещательные системы цветного телевидения, находящиеся в эксплуатации, работают по методу одновременного сложения цветов (во всяком случае, в приемном устройстве).

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Система с поочередным сложением цветов

Для того, чтобы уяснить работу современных так называемых совместимых систем цветного телевидения, ознакомимся кратко сначала с поочередным сложением цветов. Упрощенная блок-схема такой системы представлена на рис. 4.

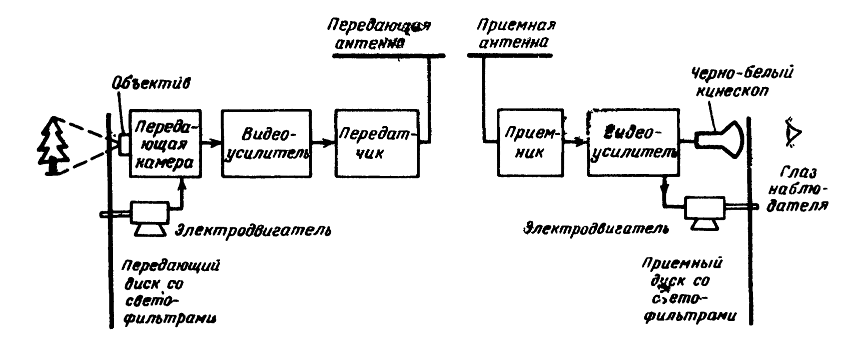


Рис. 4. Блок-схема системы цветного телевидения с поочередным сложением цветов.

[1] Подбирать количество красного, зеленого и синего можно двумя путями: во-первых, густотой окраски (прозрачностью) светофильтра, во-вторых, относительной шириной сектора, занимаемого тем или другим светофильтром.

Перед обычной (черно-белой) передающей камерой вращается диск с тремя светофильтрами, окрашенными в основные цвета. Скорость движения диска должна быть подобрана такой, чтобы за время прохождения перед объективом камеры светофильтра одного цвета осуществилась развертка всего проектируемого на фотокатод передающей трубки изображения. После усиления видеосигнал подается на передатчик и затем на несущей частоте излучается в эфир.

Принятый антенной сигнал после приемника, детектора и видеоусилителя подается на управляющий электрод черно-белого кинескопа. Перед его экраном вращается диск со светофильтрами, подобный передающему диску. Радиозритель смотрит на экран телевизора через вращающийся диск.

Передающий диск служит для цветного анализа передаваемого изображения. Сложное по цветовому составу изображение *O* (см. стр. 2 обложки) разделяется на три последовательных одноцветных кадра *R, G, B*. На этом рисунке желтая стенка домика или желтое солнце передается, согласно законам колориметрии, в двух кадрах — красном и зеленом. Белое окно — в трех кадрах.

При достаточно быстром вращении дисков отдельные одноцветные изображения на экране кинескопа сливаются в многоцветную картину, соответствующую оригиналу.

Очевидно, что для правильной цветопередачи, кроме электронной синхронизации разверток в передающей и приемной трубках, необходимо еще осуществить механическую синхронизацю и фазировку вращения электродвигателей с дисками. На блок-схеме рис. 4 необходимость такой синхронизации показана линиями со стрелками, идущими от электродвигателя к видеоусилителю (передающая сторона) и от видеоусилителя к электродвигателю (приемная сторона).

Основными достоинствами системы с поочередным сложением цветов являются: простота идеи; использование только одной передающей трубки, одного обычного (черно-белого) кинескопа; простота цветовой синхронизации. Создается впечатление, что стоит только к обычному черно-белому телевизионному оборудованию пристроить на передающей и приемной сторонах по электродвигателю с вращающимися светофильтрами, как система телевидения станет цветной.

Действительно, в ряде специальных случаев система с поочередным сложением цветов может быть с успехом использована. Однако для радиовещательного телевидения она оказалась непригодной. Следующие существенные недостатки системы заставили отказаться от ее применения в радиовещании: чрезмерно большая полоса частот телевизионного сигнала, трудность использования кинескопов с большим экраном, разрывы цветов при передаче движущихся изображений, невозможность совместимости.

Рассмотрение недостатков начнем с самого существенного — невозможности совместимости. В настоящее время в нашей стране, а также и за границей выпущено большое количество черно-белых телевизионных приемников, исчисляющееся десятками миллионов. В связи с этим следует искать такие принципы построения системы цветного телевидения, которые укладывались бы в рамки установленных основных стандартов черно-белого телевидения.

Важнейшие показатели этого стандарта — полоса частот, занимаемая телевизионным каналом, и частоты строчной и кадровой разверток. Если система цветного телевидения не будет удовлетворять стандарту хотя бы по этим двум основным показателям, владельцу

черно-белого телевизора придется купить еще и цветной (на первых порах наверняка дорогой) И наоборот, приобретя цветной телевизор и не имея черно-белого, телезритель не будет иметь возможности смотреть черно-белые передачи.

Принцип совместимости в цветном телевидении означает, с одной стороны, возможность приема цветных передач на обычный черно-белый телевизор без всяких переделок в его схеме и конструкции (естественно, что эти предачи будут видны в черно-белом виде), с другой стороны, приемник цветного телевидения, также без всяких переделок, должен быть способен, кроме цветных, принимать обычные черно-белые программы. Принцип совместимости означает сосуществование цветного и черно-белого телевидения и обеспечивает возможность постепенного перехода от черно-белого телевидения к цветному.

Как уже было сказано, система с поочередным сложением цветов не удовлетворяет принципу совместимости. Основной причиной этого является так называемое цветовое мелькание. Поясним сказанное. Как известно, в телевидении передается 50 кадров в секунду[1]. Эта частота смены кадров выбрана с таким расчетом, чтобы устранить мелькания. При более низкой частоте кадров все изображение неприятно мелькает. Повышая частоту кадров примерно до 40—45 *кадр/сек,* мы добьемся исчезновения мельканий. Частота, при которой мелькания становятся почти незаметными, называется критической. В телевидении частота кадров, выбранная равной 50 *кадр/сек,* во-первых, с некоторым запасом перекрывает критическую частоту мельканий; во-вторых, совпадение этой частоты с частотой питающей сети делает сетевые помехи (фон) на экране неподвижными, т. е. значительно менее заметными, чем движущиеся.

Посмотрим, как обстоит дело с мельканием в системе с поочередным сложением цветов, блок-схема которой изображена на рис. 4. Если для обеспечения принципа совместимости сохранить частоты строчной и кадровой разверток теми же, что и в черно-белом телевидении, то появятся недопустимые, неприятные и раздражающие радиозрителя цветовые мелькания. Их появление удобно пояснить на следующем простом примере. Допустим, что объектом передачи является изображение красного флага на синем фоне (см. стр. 3 обложки). Как видно из рисунка, хотя период кадров составляет $T_к = \frac{1}{f_к} = \frac{1}{50}$ *сек,* появление одного и того же цвета (например, красного) осуществляется с периодом

$$T_ц = 3T_к = \frac{3}{50}\ сек,$$

т. е. частота цветовых мельканий оказывается втрое ниже, чем частота кадров:

$$f_ц = \frac{f_к}{3} = \frac{50}{3} = 16{,}7\ гц,$$

т. е. значительно ниже критической частоты мельканий.

Для устранения неприятного явления цветового мелькания в си-

[1] Точнее говоря, при чересстрочной развертке передается 50 полей (или полукадров) в секунду. Однако для упрощения терминологии специалисты, говоря о кадровой частоте, имеют в виду именно полукадровую.

стеме с поочередным сложением цветов приходится втрое увеличивать частоту кадров. При этом частоты строчной и кадровой разверток также утраиваются, а генераторы разверток в обычном черно-белом телевизоре не могут работать без существенных переделок на утроенной частоте и поэтому поочередная система оказывается несовместимой.

При повышении частоты кадров втрое спектр частот телевизионного сигнала также расширяется в 3 раза и система с поочередным сложением цветов оказывается несовместимой и по этому признаку.

Коснемся теперь вкратце других недостатков системы, которые были бы не очень существенными и над устранением которых следовало бы поработать, если бы система была совместимой.

Для современных телевизоров характерно использование кинескопов с большими размерами экрана (47, 59, 65 *см* по диагонали и более). Диск со светофильтрами, вращающийся перед таким экраном, должен иметь диаметр по крайней мере в 2 раза больше размера изображения. Такой вращающийся диск величиной с колесо от троллейбуса нельзя считать приемлемым для домашнего телевизионного приемника.

При передаче движущихся изображений, окрашенных в сложные цвета, неизбежны так называемые разрывы цветов. Например, оранжевый цвет изображения передается двумя кадрами — красным и зеленым. Так как за время передачи кадра движущееся изображение (или его части) может заметно переместиться, его красная составляющая не совпадет точно с зеленой. Появляется «цветовая бахрома» вдоль движения изображения.

Нечто похожее происходит также при непроизвольном скачкообразном движении глаз радиозрителя. Увидев пусть даже неподвижный оранжевый объект сначала в зеленом виде, взгляд, не дожидаясь второго (красного) кадра, может переместиться на другую часть экрана, а оранжевый объект в сознании радиозрителя остается зеленым.

Система с одновременным сложением цветов

Одна из возможных блок-схем передающего устройства системы с одновременным сложением цветов в своем упрощенном (первоначальном) варианте представлена на рис. 5, *а*. Лучи света, отраженные от объекта передачи, попадают на цветоизбирательные (дихроичные)[1] зеркала *1* и *4*. Дихроичное зеркало (устройство которого мы опишем позже) обладает следующим свойством: оно отражает лучи одного цвета, а пропускает лучи других, оставшихся цветов. Например, зеркало *1* отражает лучи *1—2* синего цвета, а пропускает лучи *1—4* зеленого и красного цветов.

Зеркало *4* отражает красные лучи *4—6* и пропускает зеленые лучи *4—5*. Таким образом, на фотокатод каждой из трех передающих трубок камеры попадает только составляющая одного из трех основных цветов: *R*, *G* или *B*.

Для того чтобы все три сигнала можно было излучать одним передатчиком, их следует сначала поместить на поднесущие частоты. Для этого после усиления видеосигналы поступают на модуляторы, куда также подаются напряжения поднесущих частот f_R, f_G и f_B. В результате три видеосигнала оказываются разнесенными по оси ча-

[1] Дихроичный (греч.) — двухцветный.

Рис. 5. Блок-схема одновременной системы цветного телевидения.
а — передающая часть; *б* — приемная часть.

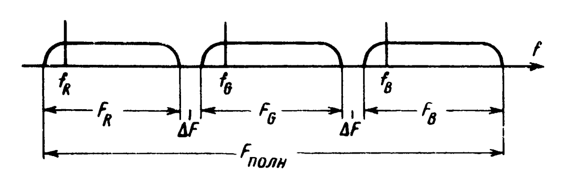


Рис. 6. Спектр частот одновременной системы.

стот, как показано на рис. 6. Если считать спектры цветных сигналов равными между собой

$$F = F_R = F_G = F_B = 6 \text{ Мгц},$$

то ширина полного спектра частот сигнала одновременной системы составит:

$$F_{полн} = 3F + 2\Delta F = 3 \cdot 6 + 2 \cdot 1 = 20 \text{ Мгц}.$$

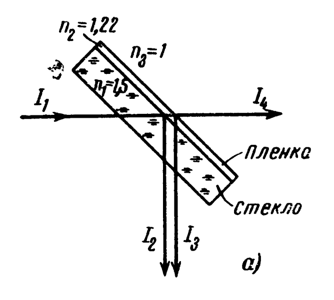
Защитные частотные полосы ΔF необходимы для четкого разделения цветных сигналов полосовыми фильтрами на месте приема.

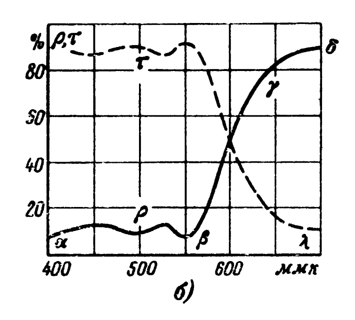
Таким образом, передатчик должен излучать в эфир сигнал с полосой около 20 *Мгц*.

Частоты строчной и кадровой разверток электронного луча любой из трех передающих трубок равны соответствующим частотам в черно-белом телевидении. Следовательно, по этому признаку одновременная система оказывается совместимой. Но по своему чрезмерно большому спектру ($F_{полн}$=20 *Мгц*) она несовместима. Однако ряд найденных впоследствии технических методов позволил сократить полосу передаваемых частот до стандартной (около 6 *Мгц*) не в ущерб качеству принимаемого изображения, т. е. сделать одновременную систему совместимой и по полосе частот. Ниже мы рассмотрим эти методы.

Существенным элементом оптики передающей камеры являются дихроичные зеркала *1* и *4* (рис. 5, *а*). Они служат для двух целей. Во-первых, с их помощью световой поток, исходящий от объекта передачи, разделяется на три потока в соответствии с числом передающих трубок. Во-вторых, дихроичные зеркала служат светофильтрами, разделяющими световой поток по цвету.

Устройство этих зеркал поясняется рис. 7, *а*. Хорошо отполированное стекло покрывается тонкой прозрачной пленкой диэлектрика. Белый луч I_1, попадая на зеркало, частично отражается (лучи I_2 и





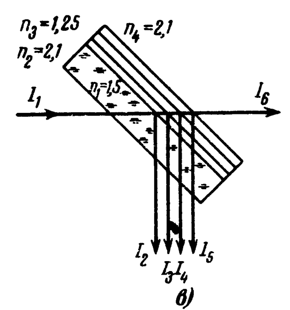


Рис. 7. Устройство и работа дихроичного зеркала.

а — зеркало с одной пленкой; *б* — зависимости отражения ρ и пропускания τ от длины волны света; *в* — зеркало с многослойной пленкой.

I_3) и частично проходит через него (I_4). В зависимости от толщины пленки, коэффициентов преломления стекла (n_1) и пленки (n_2) лучи, отраженные от границы стекло — пленка (I_2) и пленка—воздух (I_3), могут в зависимости от длины волны (т. е. цвета) оказаться либо в

фазе, либо в противофазе, либо в промежуточном состоянии. Это означает, что их энергия может либо складываться, либо частично или полностью взаимно компенсироваться. Таким образом, интенсивность отраженного света зависит от длины волны. Типичные графики зависимости коэффициента отражения

$$\rho = \frac{I_2 + I_3}{I_1}$$

и коэффициента пропускания

$$\tau = \frac{I_4}{I_1}$$

представлены на рис. 7, *б*. Как видно из этих графиков, сумма прошедшего и отраженного света примерно (с точностью до потерь) равна падающему на зеркало свету:

$$\rho + \tau = 1.$$

Дихроичное зеркало *1* отражает синюю часть спектра, которая обычным зеркалом *2* и объективом *3* (рис. 5, *а*) направляется на фотокатод «синей» передающей трубки. Прошедшие через зеркало *1* зеленый и красный световые потоки таким же образом расщепляются зеркалом *4* на зеленый и красный.

Для лучшей цветовой избирательности дихроичного зеркала нанесенная на него пленка делается многослойной (рис. 7, *в*). Подбором коэффициентов преломления в этих пленках, их толщины и порядка их расположения удается добиться значительно лучшей зависимости коэффициентов отражения ρ и пропускания τ от длины волны, т. е. большей крутизны среза на участке $\beta\gamma$ (рис. 7, *б*) и лучшей равномерности характеристики на участках пропускания $\alpha\beta$ и отражения $\gamma\delta$.

Блок-схема приемного устройства системы с одновременным сложением цветов дана на рис. 5, *б*. После антенны, радиоприемника и усилителя сигнал поступает на три полосовых фильтра, которые выделяют из трех только одну из поднесущих: f_R, f_G или f_B, соответственно промодулированных цветными сигналами F_R, F_G или F_B. После детектирования и усиления каждый из сигналов подается на управляющий электрод своего проекционного кинескопа. Можно было бы использовать черно-белые кинескопы с соответствующими светофильтрами перед экраном. Однако гораздо более эффективными являются кинескопы, у которых вещество катодолюминофора подобрано так, что он светится только одним из трех основных цветов: красным [фосфат цинка $Zn_3(PO_4)_2$], зеленым (виллемит $Zn_2SiO_4 \cdot Mn$) или синим (сульфид цинка $ZnS \cdot Ag$). Если объект передачи имеет вид, показанный на стр. 2 обложки, то на экранах трех цветных кинескопов появится одно из изображений: *R*, *G* или *B*. Подчеркнем, что в поочередной системе эти изображения появляются на экране одного кинескопа поочередно. Здесь же, в одновременной системе, все три цветных изображения появляются одновременно на трех кинескопах.

При помощи проекционных объективов свет с экранов кинескопов проецируется на большой экран, где и происходит одновременное сложение цветов. Этот экран иногда конструктивно удобно выполнить из матового стекла и рассматривать цветное изображение с противоположной от кинескопов стороны.

Цветной кинескоп

В описанной одновременной системе обращает на себя внимание громоздкость входных и выходных устройств. Камера должна содержать три передающие трубки с соответственным угроением оборудования: отклоняющими системами, предварительными усилителями схемами питания и «тройной» весьма сложной оптикой. Выходное приемное устройство содержит три кинескопа, что дорого и неудобно для радиозрителя.

В современных одновременных системах, как и в первых вари антах этих систем, по-прежнему используются три передающие трубки и сложная оптика. Нужно учитывать, однако, что передающая камера цветного телевидения служит большому количеству цветных телевизоров, и высокая стоимость ее изготовления и эксплуатации в пересчете на один телевизор составит ничтожную величину. Важно также, что эта камера повседневно обслуживается на Телецентре

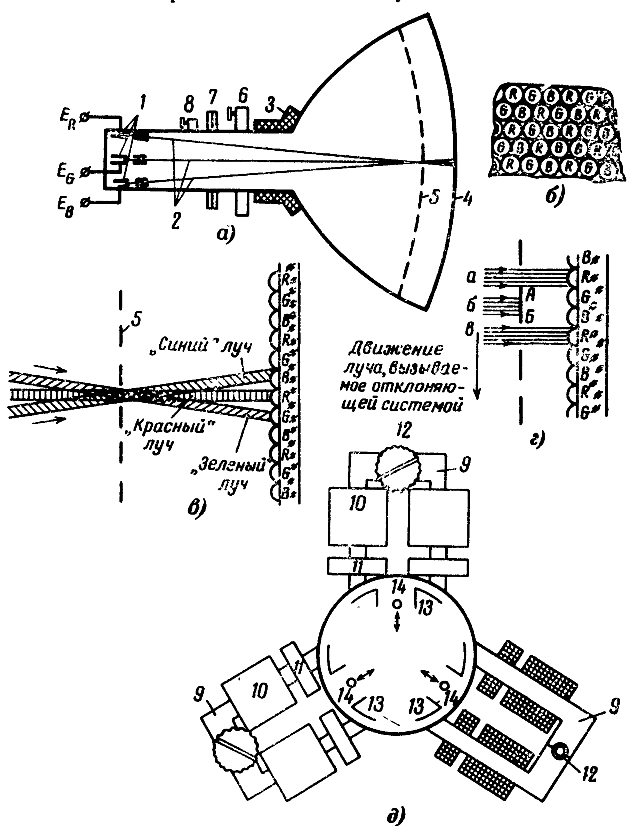


Рис. 8. Устройство и работа трехцветного кинескопа.
а — эскиз трубки; *б* — устройство мозаичного экрана; *в* — прохождение лучей через отверстия маски; *г* — работа маски; *д* — система динамического и статического сведения лучей.

квалифицированными специалистами (чего нельзя сказать о цветном телевизоре) и тем самым высокое качество ее работы гарантируется.

Сложное дорогостоящее приемное устройство с тремя проекционными кинескопами, имеющее сравнительно большой экран (1 $м^2$ и более), пригодно для обслуживания больших аудиторий в клубах, агитпунктах, домах отдыха и пр.

Для замены в домашнем телевизоре трех кинескопов одним разработан специальный трехцветный кинескоп, устройство которого поясняется на рис. 8.

Экран кинескопа выполняется в виде мозаики, состоящей из сотен тысяч точечных катодолюминофоров трех сортов: «красного», «зеленого» и «синего» (эти условные названия означают, что под действием электронного луча данный катодолюминофор дает свечение соответствующего цвета). Точечные катодолюминофоры образуют группы из трех точек *R, G, B,* систематически повторяющиеся по направлению вдоль строки (рис. 8, *б*).

В соответствии с точечным трехцветным экраном в кинескопе имеются три отдельных электронных прожектора *1,* создающих три электронных луча *2,* которые также назовем условно «красным», «зеленым» и «синим». Интенсивность этих лучей управляется взаимонезависимо подачей соответствующих напряжений E_R, E_G и E_B на управляющие электроды. Однако развертка по строкам и кадрам производится одновременно одной, общей для всех лучей отклоняющей системой *3.*

Для того чтобы каждый из электронных лучей, достигая экрана, попадал только на свои точки катодолюминофора, перед экраном *4* помещается так называемая маска *5,* представляющая собой тонкую металлическую пластину толщиной 0,15 *мм* с многочисленными отверстиями для прохождения электронных лучей. Электронная оптика трубки устроена так, чтобы обеспечить схождение всех трех лучей в общей точке на поверхности маски. Таким образом, при наличии кадровой и строчной разверток электронные лучи будут последовательно проникать через все отверстия маски, одновременно возбуждая три точечных катодолюминофора, находящихся непосредственно за каждым отверстием (рис. 8, *в*). Если бы маска отсутствовала, каждый из лучей, двигаясь по строкам и кадрам, возбуждал бы, кроме «своих» точек, также и точки двух других катодолюминофоров.

Рисунок 8, *г* иллюстрирует защитное действие маски. На этом рисунке для простоты изображен только один «красный» электронный луч в трех положениях: *а, б* и *в*. Когда луч сходит с точки *R'*, участок *АБ* маски закрывает точки *G* и *B* от попадания на них «красного» луча. Такая же картина происходит и с двумя другими лучами, проникающими через отверстия маски только на свои катодолюминофоры.

Наличие трех электронных прожекторов, маски, мозаичного экрана делает цветной кинескоп значительно более сложным по сравнению с черно-белым. Кроме указанных усложнений, снаружи цветного кинескопа укрепляется еще ряд дополнительных электромагнитов *6,* служащих для обеспечения сходимости лучей на всей поверхности маски, магнитов чистоты цвета *7,* магнита перемещения синего луча *8.* Таким образом, устройство и эксплуатация описываемого цветного кинескопа оказываются весьма сложными.

Кратко поясним назначение магнитов *6, 7* и *8.* В связи со всегда имеющейся неточностью установки арматуры прожекторов и маски,

электронные лучи, проникающие через отверстия маски, могут попадать на «чужие» элементы катодолюминофора на экране. Например, «красный» луч может возбуждать в некоторых местах экрана «синие» и «зеленые» точки. Для устранения этого явления служат магниты чистоты цвета *7*. Вращением их в соответствующей обойме можно влиять на траекторию луча и добиться, что лучи будут возбуждать практически только «свои» элементы люминофора.

Для правильной работы кинескопа необходимо, чтобы все три электронных луча одновременно проходили через одно и то же отверстие маски на всей ее поверхности. Для этого служат электромагниты сведения лучей *6*. Эскиз их конструкции дан на рис. 8, *д*. На три П-образных сердечника *9* надеваются кадровые *10* и строчные *11* катушки сведения лучей. В эти катушки от специального узла схемы телевизора поступают токи кадровой и строчной частоты, имеющие форму, близкую к параболической. Кроме того, в соответствующие гнезда сердечников вставляются постоянные магниты *12*, намагниченные по диаметру. Направление силовых линий переменных и постоянных магнитных полей внутри полюсных наконечников *13* оказывается таким, что электронные лучи *14* получают дополнительное отклонение по радиусу горловины трубки. Поворотом постоянных магнитов *12* добиваются сведения лучей в одну точку в центре экрана (статическое сведение). Однако на периферии экрана лучи опять расходятся. Регулируя амплитуду параболических токов строчной и кадровой частоты (и соответственно напряженность параболического магнитного поля), добиваются сведения лучей и на краях экрана (динамическое сведение).

Магнит *8* перемещения синего луча по горизонтали служит для более точного сведения всех трех лучей.

Кроме того, для получения лучшей чистоты цвета отклоняющая система *3* снабжена устройством для ее перемещения вдоль оси трубки.

Дополнительным недостатком кинескопа с маской является необходимость иметь существенно большую мощность каждого электронного луча, чем в черно-белом кинескопе. Это объясняется тем, что маска бесполезно задерживает значительную часть электронов, и, чтобы расположенные за маской катодолюминофоры имели достаточное возбуждение, мощность лучей следует увеличить в несколько раз. Так, например, если для черно-белого кинескопа ток луча и напряжение главного анода соответственно составляют $i_{ч.б}=100$ *мка* и $U_{ч.б}=16$ *кв*, то для цветного кинескопа с таким же примерно экраном $i_{цв}=600$ *мка* и $U_{цв}=25$ *кв*.

Упомянутые выше недостатки кинескопа с маской заставили специалистов искать пути создания безмасочных цветных кинескопов. В таких кинескопах цветоделительная маска заменяется сеткой, представляющей собой ряд тонких вертикальных проволочек, расположенных внутри колбы сзади экрана. В трехлучевых кинескопах все проволочки сетки соединены между собой (рис. 9, *а*), а в однолучевых они разделены через одну на две группы и соединение проволочек сделано в каждой группе отдельно (рис. 9, *б*).

Цветные люминофоры в кинескопах с сеткой наносятся на экраны не в виде точек, как в кинескопах с маской, а в виде вертикальных полос (рис. 9, *в*).

Цветоделительная сетка выполняет две функции. Во-первых, она дополнительно фокусирует электронные лучи, уменьшая их диаметр до ширины полос люминофора (рис. 9, *г*), что по сравнению с масоч-

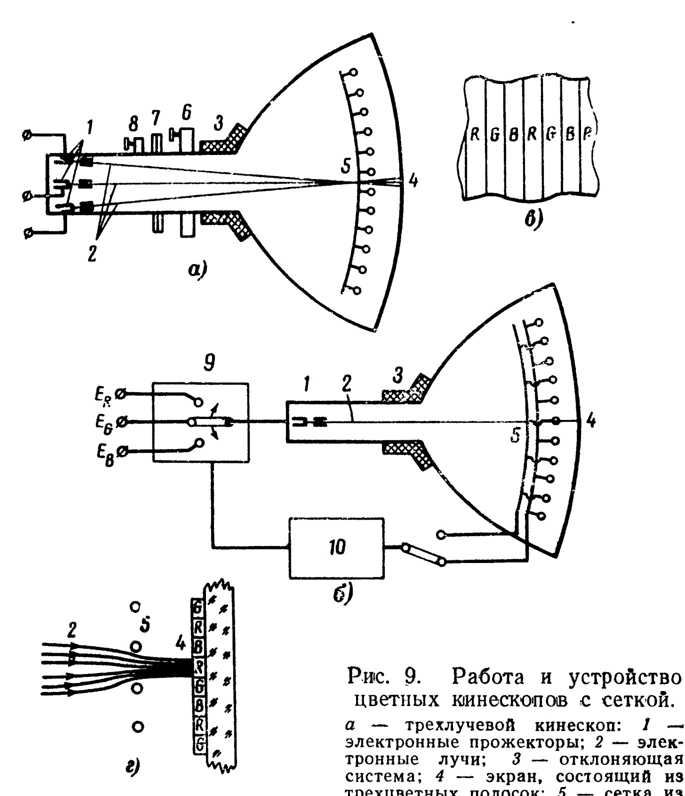


Рис. 9. Работа и устройство цветных кинескопов с сеткой.

а — трехлучевой кинескоп: *1* — электронные прожекторы; *2* — электронные лучи; *3* — отклоняющая система; *4* — экран, состоящий из трехцветных полосок; *5* — сетка из тонких проволочек; *6* — устройство сходимости лучей; *7* — магниты чистоты цвета; *8* — магнит дополнительного отклонения «синего» луча; *б* — однолучевой кинескоп с сеткой; *9* — коммутатор сигналов цветности; *10* — блок управления отклонения электронного луча; *в* — полосатая структура люминофора экрана цветного кинескопа с сеткой; *г*—фокусирующее действие сетки.

ными кинескопами значительно увеличивает плотность тока электронного луча, прошедшего к люминофору, и соответственно яркость свечения. Во-вторых, в трехлучевых кинескопах цветоделительная сетка, так же как и маска, обеспечивает прохождение трех лучей только на «свои» полоски люминофора.

В однолучевых кинескопах с сеткой три цветовых сигнала *R, G, B* подаются на единственный катод трубки поочередно, для этой цели используется коммутатор *9* (рис. 9, *б*). Кроме того, с выхода этого коммутатора через блок управления дополнительным отклонением электронного луча *10* подаются напряжения различной полярности на две группы проволочек *5* цветоделительной сетки. Эти напряжения заставляют электронный луч отклоняться либо влево (например, на синюю полоску люминофора), либо вправо (зеленая полоска), либо проходить по центру без отклонения (красная полоска). Очевидно, что направление отклонения должно согласовываться с

соответствующей подачей того или иного цветового сигнала на катод кинескопа.

Как уже отмечалось, трехлучевой кинескоп с сеткой может иметь существенное преимущество перед кинескопом с маской, заключающееся в возможности получения значительно большей яркости экрана. Однако для этого кинескопа сохраняются те же недостатки: необходимость дополнительных устройств сведения лучей и чистоты цвета. Кроме того, в процессе работы цветоделительная сетка нагревается, что приводит к прогибу проволочек и соответствующему ухудшению качества воспроизведения цветов.

Главным преимуществом однолучевого кинескопа с сеткой является наличие только одного электронного прожектора. Однако необходимость поочередной подачи цветовых сигналов, во-первых, существенно усложняет схему телевизора и, во-вторых, сильно снижает яркость изображения.

В настоящее время в массовых цветных телевизорах используется кинескоп с маской.

Сигнал яркости

Обычный черно-белый телевизор не может принимать изображение (конечно, в черно-белом виде) описанной одновременной системы еще и потому, что в видеосигнале этой системы нет составляющей, соответствующей черно-белому изображению. Можно, настраивая телевизор на один из спектров рис. 6, получить в черно-белом виде одно из цветных изображений — R, G или B. Очевидно, что ни одно из этих изображений непригодно для роли черно-белого.

Таким образом, для обеспечения совместимости необходимо, чтобы передатчик системы цветного телевидения, кроме сигналов, передающих информацию о цвете, излучал также сигнал, соответствующий черно-белому изображению. Этот сигнал называют обычно сигналом яркости, так как отдельные участки черно-белого изображения отличаются только яркостью.

Сигнал яркости может быть получен сложением всех трех сигналов основных цветов R, G и B. Однако вследствие неодинаковой чувствительности глаза к различным цветам три напряжения, входящие в сигнал яркости, не должны быть равны между собой.

Кривая спектральной чувствительности человеческого зрения (кривая видности k) дана на рис. 10. Глаз наиболее чувствителен к зеленому цвету, менее — к красному и еще менее — к синему. Это означает, что при одинаковой мощности цветовых потоков, попадающих в глаз, зеленый поток будет казаться наиболее ярким по сравнению с красым и синим. Для создания большей естественности и выразительности изображения в системе черно-белого телевидения нужно учитывать это свойство зрения. Хотя картина и не будет цветной, яркость «зеленых» мест изображения должна быть больше, чем «красных» и «синих».

Экспериментально установлено, что при выбранных трех основных цветах (вершины треугольника RGB на цветовом графике рис. 2, *а*) относительное содержание R, G и B в яркостном, т. е. черно-белом сигнале соответствует уравнению

$$E_Y = 0,30\,E_R + 0,59\,E_G + 0,11\,E_B \qquad (2)$$

(т. е. яркостный сигнал белых частей изображения содержит 30% «красного», 59% «зеленого» и 11% «синего» сигналов).

Объясним несколько подробнее это важное для цветного телевидения уравнение. Представим себе, что на фотокатоды трех передающих трубок проецируется простое изображение, состоящее из белой полосы на черном фоне. Дихроичные зеркала разделяют свет от белой полосы на три основные цветные составляющие R, G и B. Регулировкой усиления в трех видеоусилителях добиваются на их выходе равенства напряжений всех трех составляющих видеосигнала:

$$E_R = E_G = E_B.$$

Так осуществляется предварительная регулировка относительной чувствительности передающей трехтрубочной камеры.

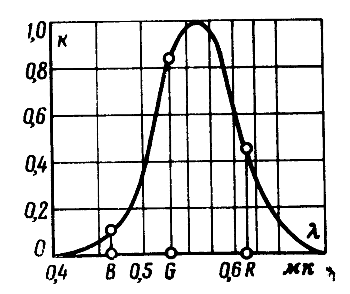


Рис. 10. Кривая спектральной чувствительности глаза с указанием на ней основных цветов R, G и B.

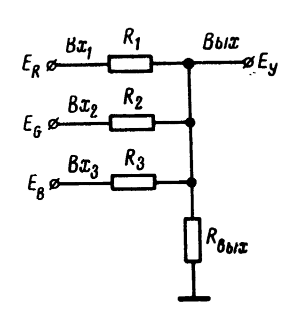


Рис. 11. Схема матрицы.

Для создания сигнала яркости (который, повторим, необходим для работы черно-белого телевизора) используется так называемая матрица. Простейшая схема матрицы, содержащая четыре резистора (три делителя напряжения), дана на рис. 11. При достаточно больших сопротивлениях резисторов R_1, R_2 и R_3 по сравнению с $R_{вых}$ делители напряжений оказываются взаимно не связанными, т. е. на резисторе $R_{вых}$ выделяются следующие напряжения:

$$E_R' = E_R \frac{R_{вых}}{R_1}; \quad E_G' = E_G \frac{R_{вых}}{R_2}; \quad E_B' = E_B \frac{R_{вых}}{R_3}.$$

Подобрав коэффициенты деления

$$\frac{R_{вых}}{R_1} = 0{,}30; \quad \frac{R_{вых}}{R_2} = 0{,}59 \text{ и } \frac{R_{вых}}{R_3} = 0{,}11,$$

получим на выходе матрицы следующий сигнал яркости:

$$E_Y = E_R' + E_G' + E_B' = 0{,}30 E_R + 0{,}59\, E_G + 0{,}11\, E_B.$$

В черно-белом телевизоре яркостный сигнал E_Y поступает на управляющий электрод кинескопа.

Следующий пример поможет лучше понять смысл весьма важного для цветного телевидения уравнения E_Y.

Возьмем в качестве объекта передачи две площадки с одинаковой интенсивностью излучения — белую и синюю. Зрителю, непосредственно наблюдающему эти площадки, будет казаться, что они

имеют разные яркости. В соответствии с этим уравнением яркость синей площадки оценивается только как 11% от белой. На экране черно-белого телевизора цвета площадок исчезают. Однако синяя площадка (в белом виде) за счет матрицирования (а не за счет неравномерной спектральной чувствительности глаза) будет менее яркой. Ее яркость также составит 11% по сравнению с белой (для синей площадки напряжения E_R и E_G, входящие в уравнение E_Y, поступающие от «красной» и «зеленой» передающих трубок, очевидно, пропадают, и $E_Y = 0,11\ E_B$).

Для того чтобы введение в систему цветного телевидения сигнала яркости не требовало дополнительного расширения полного спектра частот, следует один из трех «цветных» сигналов — E_R, E_G или E_B — исключить из передачи. Это можно сделать, основываясь на том же уравнении E_Y. Если на месте приема, кроме сигнала яркости E_Y, имеются еще два цветовых сигнала, например, E_R и E_B, то необходимый для полного воспроизведения цветов третий цветовой сигнал E_G можно получить матрицированием. В самом деле, из уравнения E_Y следует:

$$E_G = \frac{1}{0,59}\left(E_Y - 0,11E_B - 0,30E_R\right).$$

Таким образом, в приемном устройстве на три входа матрицы (имеющей, например, схему, подобную показанной на рис. 11) следует соответственно подать сигналы E_Y, E_B и E_R и подобрать нужным образом коэффициенты деления $R_{вых}/R_1$, $R_{вых}/R_2$ и $R_{вых}/R_3$. Отрицательные знаки перед E_B и E_R означают необходимость предварительного изменения полярности этих сигналов фазопереворачивающими каскадами. Подбором усиления в дальнейших каскадах нужно также ввести корректирующий множитель 1/0,59. Следовательно, применение в приемном устройстве соответствующего матрицирования позволяет из трех принятых сигналов E_Y, E_R и E_B получить четыре: E_Y, E_R, E_B и E_G.

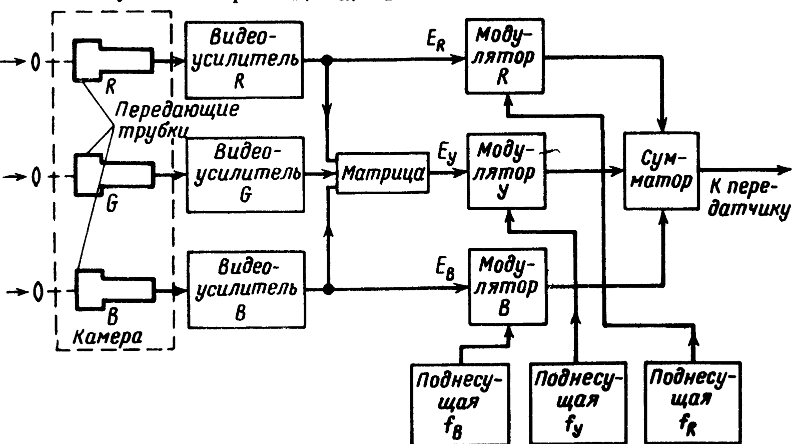


Рис. 12. Блок-схема передающей части одновременной системы с образованием сигнала яркости.

Полный спектр частот сигнала, вырабатываемого такой системой (рис. 12), еще не отличается по величине от спектра системы, показанной на рис. 5, *а*. В данном случае следует только на графике спектров (рис. 6) участок f_a+F_a заменить частотными составляющими яркостного сигнала f_Y+F_Y. Однако данная система является уже в значительной степени совместимой. Действительно, черно-белый приемник, настроенный на прием участка спектра и получающий, таким образом, сигнал яркости, может принимать цветную программу в черно-белом виде. С другой стороны, цветной телевизор, принимающий сигнал черно-белого телевидения E_Y, может воспроизвести этот сигнал в черно-белом виде на цветном кинескопе. Для этого надо только, чтобы этот сигнал синхронно поступал на все три управляющих электрода трехцветного кинескопа. Белое свечение на экране создается как сумма трех цветов соответствующих точечных катодолюминофоров.

Полоса частот мелких цветных деталей

Человеческий глаз плохо различает цвета мелких деталей. Это свойство глаза позволило существенно сократить требуемый спектр частот цветного телевизионного сигнала.

Для того чтобы лучше разобраться в этом вопросе, найдем сначала связь между величиной мелкой детали изображения и требующейся для ее передачи верхней границей полосы частот.

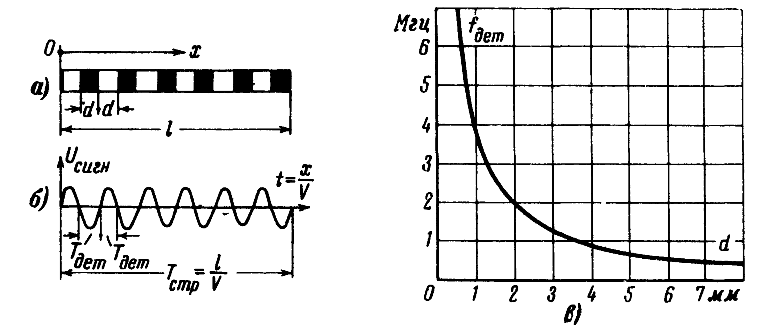


Рис. 13. Связь между размерами мелких деталей и полосой частот.

а — расположение мелких деталей на строке; *б* — сигнал, соответствующей мелким деталям; *в* — график зависимости полосы частот от размера мелких деталей; (l — длина строки; d — размер детали; v — скорость движения луча; $T_{дет}$ — время передачи одной детали; $T_{стр}$ — время передачи строки).

На рис. 13, *а* в упрощенном виде представлена строка изображения с равномерно чередующимися на ней черными и белыми деталями. Напряжение сигнала этой строки $U_{сигн}$ (рис. 13, *б*) из-за апертурных искажений[1] не имеет вида прямоугольных импульсов.

[1] Апертурные искажения связаны с конечным диаметром электронного луча. Луч, двигаясь вдоль строки, не в состоянии воспроизвести резкие перепады яркости, по длительности сравнимые с диаметром луча.

Для простоты можно принять, что $U_{\text{сигн}}$ имеет форму синусоиды, частота которой определяется так:

$$f_{\text{дет}} = \frac{1}{2T_{\text{дет}}}.$$

Исходя из очевидных соотношений (рис. 13, *а* и *б*)

$$\frac{T_{\text{стр}}}{2T_{\text{дет}}} = \frac{l}{2d},$$

получаем:

$$f_{\text{дет}}\, d = \frac{l}{2T_{\text{стр}}},$$

где $T_{\text{стр}}$ — длительность прямого хода по строке, т. е. при заданных длине строки l и длительности прямого хода $T_{\text{стр}}$ произведение $f_{\text{дет}}d$ является постоянной величиной. Это означает, что для передачи более мелких деталей d требуется более высокая частота $f_{\text{дет}}$.

На рис. 13, *в* дан график зависимости этой высшей частоты спектра $f_{\text{дет}}$ от размера детали d для взятых из практики величин $l = 480$ *мм* (кинескоп 59ЛК3Ц и $T_{\text{стр}} = 51$ *мксек*).

Таким образом, основываясь на полученном уравнении и графике на рис. 13, *в*, можно, как это часто делается в телевидении, размер деталей условно определять не в миллиметрах, а в мегагерцах. Например, очень мелкие детали лежат в диапазоне от 3 до 6 *Мгц*, мелкие детали — от 1 до 3 *Мгц*, средние детали — от 0,5 до 1 *Мгц*.

Теперь возвратимся к указанному выше свойству зрения. Многократные опыты показали, что с уменьшением размеров наблюдаемых цветных деталей их видимая цветовая насыщенность становится меньше. Это явление иллюстрируется графиком примерной зависимости видимой насыщенности от условных размеров деталей и их цвета (рис. 14). Из этого графика видно следующее. При уменьшении размеров насыщенных синих деталей (с черными промежутками) их

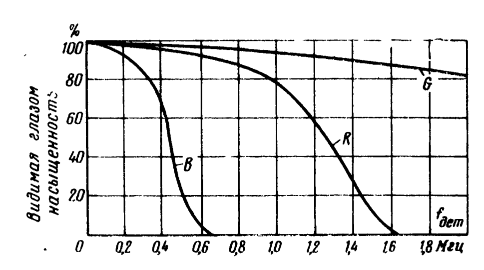


Рис. 14. График зависимости видимой насыщенности от размеров деталей и их цвета.

видимая насыщенность быстро падает и при $f_{\text{дет}} = 0{,}5 \div 0{,}6$ *Мгц* практически становится равной нулю. Это значит, что на этих частотах мелкие синие детали кажутся светло-серыми на темном фоне. Красные детали дольше сохраняют цветность и только при размерах, со-

ответствующих $f_{дет}=1{,}4 \div 1{,}6$ *Мгц*, также кажутся бесцветными. Зеленые мелкие детали сохраняют видимую цветность практически вплоть до верхней границы телевизионного спектра.

Подобное явление потери цветного зрения на мелких деталях связано с различной спектральной чувствительностью глаза (см. рис. 10), наибольшей в зеленом цвете, средней — в красном и малой — в синем.

Следует отметить также, что, кроме потери видимой насыщенности, мелкие цветные детали теряют свою различимость. Так, синие детали с условными размерами выше 0,6—0,8 *Мгц* сливаются в сплошной серый фон. Красные детали видны как отдельные (в бесцветном виде) до 1,6—1,8 *Мгц*. И только для зеленых деталей разрешающая способность глаза максимальна.

Описанное свойство глаза позволяет значительно ограничить общую полосу частот сигнала системы цветного телевидения. В самом деле, нет необходимости во всех трех каналах цветности (рис. 5, *а*) передавать полный спектр частот $F_R=F_G=F_B=F=6$ *Мгц*. Основываясь на графике рис. 14, включив соответствующие фильтры в блок-схему на рис. 5, можно принять $F_B=0{,}5$ *Мгц*; $F_R=1{,}5$ *Мгц*; $F_G=6$ *Мгц*. Учитывая две защитные полосы $2\Delta F=1$ *Мгц* (рис. 6), получаем в этом случае

$$F'_{полн} = F_B + F_R + F_G + 2\Delta F = 0{,}5 + 1{,}5 + 6 + 1 = 9 \text{ Мгц},$$

т. е. выигрыш в полосе частот составит

$$\frac{F_{полн}}{F'_{полн}} = \frac{20}{9} = 2{,}2 \text{ раза}.$$

Уплотнение телевизионного спектра

Хотя ограничение спектров «синего» и «красного» сигналов дает выигрыш более чем в 2 раза, однако полная полоса частот $F'_{полн} = 9$ *Мгц* оказывается еще чрезмерной, не укладывающейся в стандартный канал черно-белого телевидения и поэтому не отвечающей условию совместимости. Дальнейшая возможность сокращения этой полосы основывается на специфической особенности телевизионного спектра — его линейчатости. Это свойство спектра заключается в том, что во всем диапазоне частот составляющие спектра не заполняют всю ось частот, а группируются вокруг гармоник частот строк и кадров (рис. 15, *а*) [1]. Таким образом, представляется возможность в промежутках между гармониками спектра $\ldots nf_к$, $(n+1)f_к \ldots$ яркостного сигнала E_Y поместить спектр цветовых сигналов E_B и E_R и тем самым уплотнить полный спектр сигналов цветного телевидения.

Линейчатость телевизионного спектра легко поясняется на примере неподвижного изображения (например, телевизионной испытательной таблицы). Каким бы сложным ни был в этом случае сигнал, он будет периодически повторяться с частотой кадров $f_к=25$ *гц*. Таким образом, сигнал, как и всякая периодическая функция, может быть представлен суммой гармоник (ряд Фурье). В нашем случае частоты гармоник составят $f_1=f_к$, $f_2=2f_к$, $\ldots$, $f_n=nf_к$.

---

[1] На рис. 15, *а* число гармонических составляющих $f_к$, $2f_к$, $\ldots$, $nf_к$, $\ldots$, $f_{стр}=625f_к$ и т. д. условно уменьшено.

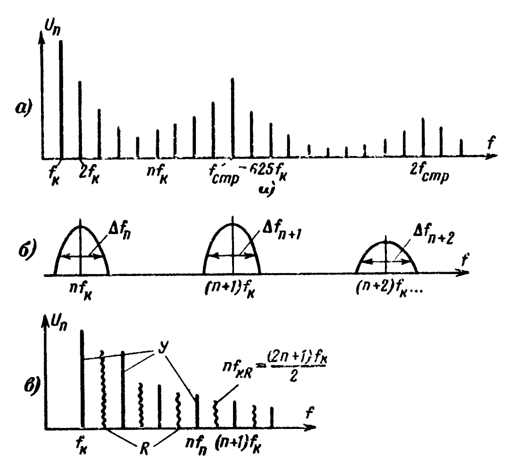


Рис. 15. Форма спектра телевизионного сигнала.

а — линейчатый характер спектра; *б* — участок спектра при движущемся изображении; *в* — способ уплотнения спектра.

Промежутки между гармониками будут незанятыми. Частота строк (и ее гармоники) также будет гармоникой частоты кадров:

$$f_{стр} = 15\,625 \text{ гц}, \; f_к = 25 \text{ гц};$$

$$\frac{f_{стр}}{f_{кадр}} = \frac{15\,625}{25} = 625.$$

Наличие в телевизионном сигнале строчных гасящих и синхронизирующих импульсов увеличивает интенсивность гармоник спектра телевизионных частот, кратных строчной частоте. Поэтому на рис. 15,*а* эти гармоники показаны большей амплитуды, чем соседние с ними составляющие спектра.

Для движущихся изображений спектр не будет чисто линейчатым, — в этом случае каждая гармоническая составляющая приобретает свои нижнюю и верхнюю боковые полосы частот (рис. 15, *б*). Ширина спектра этих боковых Δf_n будет тем больше, чем больше скорость движения деталей передаваемого изображения.

Однако и в этом случае свободные промежутки в спектре оказываются относительно большими, позволяющими поместить в них цветовую информацию.

Спектр цветовых сигналов E_B и E_R, получаемых с выхода видеоусилителей (рис. 5, *а*), имеет также линейчатый характер, так как эти сигналы создаются теми же передающими трубками и развертками, что и яркостный сигнал E_Y. Это обстоятельство дает возможность с целью уплотнения осуществить «переплетение» спектров сигнала яркости и цветовых сигналов.

Для пояснения сказанного возьмем сначала только один цветовой сигнал, например E_R. На рис. 15, *в* в упрощенном виде показано взаимное положение гармоник сигнала яркости (отрезки прямых) и

цветового сигнала (волнистые линии). Для того чтобы составляющие цветового сигнала попадали между гармониками яркостного сигнала, нужно, чтобы их частоты были средним арифметическим:

$$nf_{\text{к}R} = \frac{(n+1)f_{\text{к}} + nf_{\text{к}}}{2} = \frac{(2n+1)f_{\text{к}}}{2},$$

где $(2n+1)f_{\text{к}}$ — нечетная гармоника кадровой частоты яркостного сигнала.

Таким образом, находящаяся в промежутке частота $nf_{\text{к}R}$ является нечетной полугармоникой $(2n+1)$ $(f_{\text{к}}/2)$ кадровой частоты.

На рис. 16, *а* представлен один из первоначальных вариантов уплотнения спектра. Спектральные составляющие цветовых сигналов помещаются в промежутки составляющих сигнала яркости при помощи двух поднесущих f_R и f_B. Для правильного «переплетения» спектров необходимо, чтобы поднесущие f_R и f_B были нечетными полугармониками кадровой (или, что то же самое, строчной) частоты. Тогда и любая гармоника сигналов цветности также будет нечетной полугармоникой.

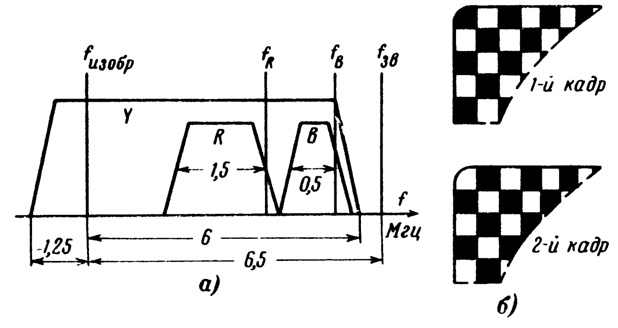


Рис. 16. Уплотнение спектра сигнала яркости цветовыми сигналами.

а — совмещенный спектр частот трех сигналов; *б* — компенсация гармоник цветового сигнала в зрительном восприятии.

Как показано на рис. 16, *а*, спектры сигналов R и B для экономии полосы частот передаются на одной боковой.

Сигнал совместимой системы цветного телевидения, спектр которого подобен указанному на рис. 16, *а*, может быть принят обычным черно-белым телевизором, на экране которого будет воспроизведено изображение в черно-белом виде. Цветовые сигналы R и B, находящиеся внутри спектра яркостного сигнала, в принципе не должны быть видны на экране кинескопа. Поясним сказанное простым примером. Предположим, что сигнал цветности состоит только из одной синусоиды

$$f_R = \frac{(2n+1)f_{\text{к}}}{2}.$$

Подсчитаем, сколько периодов этой синусоиды уложится на полном кадре, т. е. на двух полукадрах при чересстрочной развертке.

Период этой синусоиды определяется выражением

$$T_R = \frac{1}{f_R} = \frac{2}{(2n+1)f_к}.$$

Период кадровой частоты $T_к = 1/f_к$, откуда

$$\frac{T_к}{T_R} = \frac{2n+1}{2} = n + \frac{1}{2},$$

т. е. на всем изображении расположится целое число периодов n плюс еще полпериода 1/2. Наличие этого полупериода приведет к тому, что от кадра к кадру синусоида f_R будет на изображении менять фазу на 180° (рис. 16, *б*), т. е. ее положительные полуволны, соответствующие белому, будут заменяться в следующем кадре отрицательными, соответствующими черному. Таким образом, в зрительном восприятии произойдет компенсация помехи.

При наличии более сложных сигналов цветности, содержащих множество полугармоник кадровой (или, что то же самое, строчной) частоты, на экране черно-белого кинескопа будет появляться дополнительное ложное изображение, которое, однако, от кадра к кадру будет то в негативе, то в позитиве, т. е. будет скомпенсировано в зрительной памяти за время передачи двух полных кадров.

Следует отметить, что частота мелькания такого ложного изображения $f_{л\ и}$ оказывается намного меньше критической частоты мельканий $F_{кр}$, составляющей для крупных деталей около 50 *гц*

$$f_{л.и} = \frac{f_к}{2} = \frac{25}{2} = 12{,}5\ гц < E_{кр}.$$

Заметность мелькания зависит от размеров мелькающего объекта, и она тем слабее, чем меньше размеры объекта. Поэтому для сведения заметности мелькания к минимуму спектры сигналов R и B на рис. 16, *а* помещаются как можно плотнее к верхней границе спектра сигнала Y. При этом мелькающие ложные изображения R и B будут состоять только из мелких деталей, что резко снизит заметность мелькания. Но и в этом случае помеха в виде мерцающих мелких точек все же видна на экране и создает определенное неудобство для радиозрителя. Особенно заметна такая мелкоструктурная помеха от поднесущей, так как, если не принимать специальных мер, ее амплитуда существенно больше всех других составляющих сигнала цветности.

Цветоразностные сигналы цветности

В предыдущем параграфе разъяснялось, что составляющие цветовых сигналов E_R и E_B, передаваемые внутри спектра сигнала яркости E_Y, не будут видны на экране черно-белого телевизора, так как их фаза от кадра к кадру меняется на 180°, в связи с чем в сознании зрителя должна произойти взаимная компенсация этих мешающих сигналов в каждых двух соседних кадрах.

Однако частота мельканий этих ложных изображений оказывается очень низкой — 12,5 *гц*, в связи с чем на практике замечаются помехи на изображении в виде мелкоструктурной медленно перемещающейся сетки. Эта мешающая сетка существует и при передаче изображений черно-белых объектов, так как три передающие трубки разлагают это изображение на три цветных, в результате чего образуются сигналы E_R и E_B (и, конечно, E_G). Таким образом,

даже при передаче черно-белых изображений полный сигнал будет содержать, кроме сигнала яркости E_Y, также и цветовые сигналы E_R и E_B.

Следует отметить, что в обычных передачах цветного телевидения большой удельный вес имеют изображения с многочисленными черно-белыми участками. Кроме того, большинство участков этих изображений имеют слабую насыщенность, т. е. преобладают розовые, светло-голубые, слабо-зеленые и т. п. тона. Детали с высокой насыщенностью встречаются относительно редко.

В связи с этим устранение на экране черно-белого телевидения помех от мелкоструктурной сетки, создаваемой цветными сигналами E_R и E_B на черно-белых и слабонасыщенных участках, значительно улучшило бы качество телевизионных передач в целом.

Во всех современных совместимых системах задача устранения помех от мелкоструктурной сетки решается путем замены в полном сигнале цветного телевидения цветных сигналов E_R и E_B цветоразностными сигналами $E_R—E_Y$ и $E_B—E_Y$. Эти сигналы создаются в соответствующих матрицах передающего устройства путем вычитания сигнала яркости из цветового сигнала.

Главной особенностью цветоразностных сигналов является то, что на белых и серых местах изображения они равны нулю: $E_R = E_B = E_G = E_Y$, т. е. $E_B—E_Y=0$ и $E_R—E_Y=0$.

При малых насыщенностях, т. е. слабой окраске, цветоразностные сигналы также малы и поэтому не создают заметных помех.

В цветном телевизионном приемнике имеются соответствующие матрицы, которые из трех сигналов E_Y, $E_R—E_Y$ и $E_B—E_Y$ формируют три основных цветных сигнала E_R, E_G и E_B. Как будет показано ниже, такой матрицей может служить и сам цветной кинескоп.

СОВМЕСТИМАЯ СИСТЕМА ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ NTSC

Структура спектра сигнала цветного телевидения, показанная на рис. 16, *а*, имеет следующие существенные недостатки. Во-первых, левые (нижние) составляющие цветового сигнала *R* подходят слишком близко к низкочастотным составляющим сигнала яркости и создаваемые ими мелькающие помехи будут нетерпимы. Во-вторых, наличие двух поднесущих f_R и f_B создает на изображении множество интерференционных помех, являющихся следствием биений между f_R, f_B, f_Y и $f_{зв}$ и их гармониками. Число и интенсивность таких помех резко снижаются, если для обоих цветовых сигналов используется только одна поднесущая.

В совместимой системе NTSC для обоих цветоразносных сигналов используется только одна поднесущая (рис. 17, *а*). Для возможности разделения на месте приема цветоразностных сигналов, передаваемых на одной поднесущей, в передающем устройстве системы NTSC используется квадратурная модуляция, сущность которой заключается в следующем (рис. 18). Оба сигнала цветности E_{R-Y} и E_{B-Y} модулируют одну и ту же поднесущую, получаемую от задающего кварцевого гетеродина. Фазы этой поднесущей, подаваемой на модуляторы *R—Y* и *B—Y*, сдвинуты на 90°.

Модуляторы *R—Y* и *B—Y* имеют балансную схему. Это значит, что их выходные напряжения пропорциональны произведениям входных напряжений, а поднесущая отсутствует (подавлена). Этим устраняется мешающее действие цветовой поднесущей на изображение.

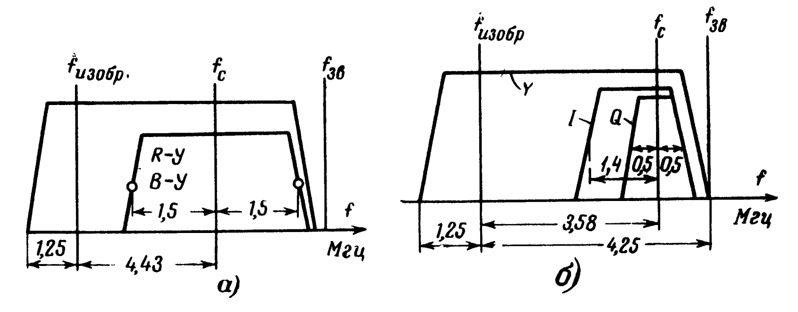


Рис. 17. Спектр телевизионного сигнала совместной системы (*а*) и спектр телевизионного сигнала системы NTSC (*б*); *I* и *Q* — цветоразностные сигналы.

В блоке сложения оба цветоразностных сигнала, теперь уже помещенные на поднесущую, линейно складываются, образуя полный сигнал цветности:

$$u_{цв} = u_{R-Y} + u_{B-Y} = k(E_R - E_Y)\cos\omega_c t + k(E_B - E_Y)\sin\omega_c t.$$

Наглядное представление о полном сигнале цветности дает векторная диаграмма (рис. 18, *б*). В зависимости от окраски передаваемого в данный момент участка изображения цветоразностные сигналы независимо меняются по амплитуде, но остаются сдвинутыми по фазе на 90°. Соответственно их суммарный вектор $u_{цв}$ меняется как по величине $U_{цв}$, так и по фазе φ.

Для лучшего представления о векторной цветовой плоскости определим значения цветоразностных сигналов для некоторых характерных цветов: красного, желтого, зеленого, сине-зеленого и пурпурного. Например, для красного

$$E_R = 1 в,\ E_B = 0,\ E_G = 0,$$

$$E_{Y\,кр} = 0{,}11\,E_B + 0{,}59\,E_G + 0{,}30\,E_R = 0{,}30\,E_R = 0{,}3\ в;$$

$$E_B - E_Y = 0 - 0{,}3 = -0{,}3\ в;$$

$$E_R - E_Y = 1 - 0{,}3 = 0{,}7\ в.$$

Соответствующая красному цвету векторная диаграмма изображена на рис. 18, *в*.

Цвета	E_R	E_B	E_G	E_Y	$E_R - E_Y$	$E_B - E_Y$	φ
Красный	1	0	0	0,3	0,7	—0,3	113°
Желтый	1	0	1	0,89	0,11	—0,89	173°
Зеленый	0	0	1	0,59	—0,59	—0,59	225°
Сине-зеленый . .	0	1	1	0,7	—0,7	—0,3	293°
Синий	0	1	0	0,11	—0,11	0,89	353°
Пурпурный . . .	1	1	0	0,41	0,59	0,59	45°

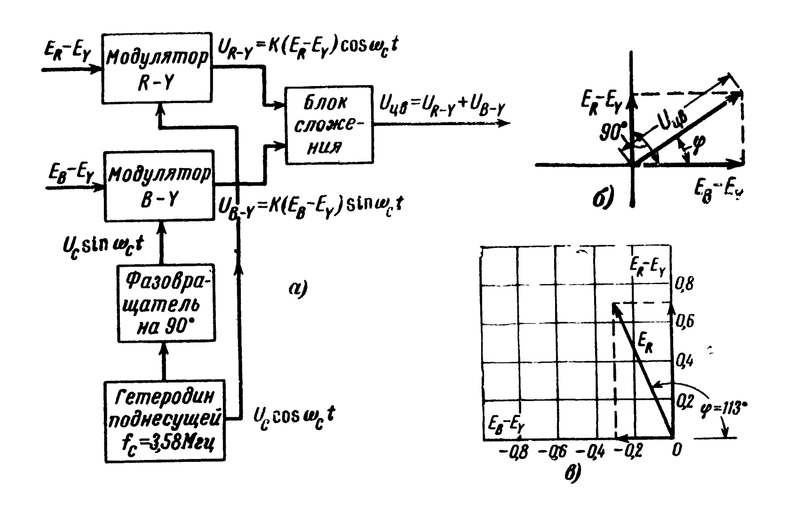


Рис. 18. Квадратурная модуляция.

а — блок-схема; *б* — образование вектора сигнала цветности; *в* — длина и фаза вектора сигнала насыщенного красного цвета.

В таблице даны E_R, E_B, E_G, а также сигнал яркости и соответствующие цветоразностные сигналы для указанных выше цветов, рассчитанные так же, как и в приведенном примере. Там же указаны фазовые сдвиги φ вектора $\mathbf{U}_{цв}$ относительно вектора $\mathbf{E}_B—\mathbf{E}_Y$, направление которого условно принято за нулевое.

На рис. 19 показаны положения и относительные размеры вектора полного сигнала цветности $\mathbf{U}_{цв}$ для всех случаев таблицы.

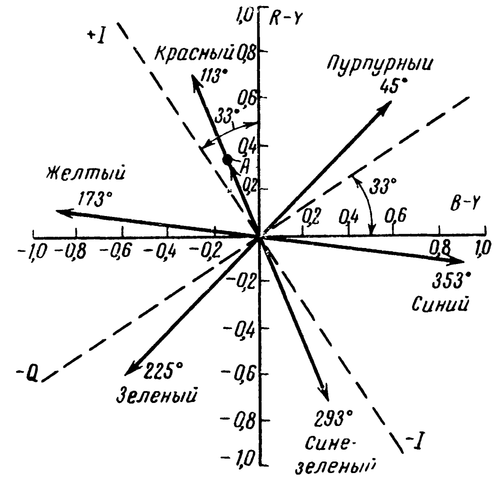


Рис. 19. Положение векторов сигналов цветности различных цветов.

Для белого цвета оба цветоразностных сигнала равны нулю, т. е. точка белого на векторной диаграмме находится в начале координат 0.

Длина вектора $\mathbf{U}_{цв}$ определяет цветовую насыщенность. Это можно показать на примере, приведенном на стр. 32. Коэффициенты перед цветоразностными сигналами в этом примере (0,7 и 0,3) те же, что и для насыщенного красного цвета (см. таблицу). Таким образом, угол φ в обоих случаях сохраняется, а длина вектора $U_{цв}$ уменьшается с уменьшением насыщенности (точка A на рис. 19).

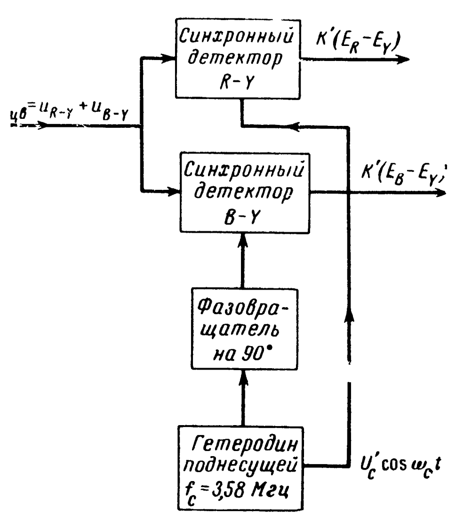


Рис. 20. Блок-схема синхронного детектирования.

Из вышеизложенного следует, что положение вектора (фазовый сдвиг φ) определяет цветовой тон, а длина этого вектора $U_{цв}$ определяет насыщенность. Другими словами, полный сигнал цветности имеет одновременно амплитудную (насыщенность) и фазовую (цветовой тон) модуляцию.

В цветных телевизионных приемниках системы NTSC имеется устройство для обратного разделения полного сигнала цветности на два цветоразностных сигнала. Работа этого устройства, называемого синхронным детектором, иллюстрируется блок-схемой на рис. 20. Синхронные детекторы $R—Y$ и $B—Y$ по принципу действия являются такими же балансными модуляторами, как и в передающем устройстве (рис. 18, *а*). Их выходное напряжение должно быть пропорционально произведению двух входных напряжений.

На первые входы синхронных детекторов одновременно подается полный сигнал цветности, на вторые входы — синусоидальное напряжение от местного гетеродина. Относительный сдвиг фазы этого напряжения на входах детекторов также составляет 90°.

Для примера рассмотрим работу синхронного детектора $R—Y$. Произведение двух входных напряжений имеет следующий вид:

$$u_{вых\,(R-Y)} = u_{цв}\,U'_c \cos\omega_c t = kU'_c\,(E_R - E_Y)\cos\omega_c t\cos\omega_c t +$$

$$+ kU'_c\,(E_B - E_Y)\sin\omega_c t\cos\omega_c t.$$

На основании элементарных формул тригонометрии

$$\cos\alpha\cos\alpha = \frac{1}{2}(1+\cos 2\alpha); \quad \sin\alpha\cos\alpha = \frac{1}{2}\sin 2\alpha,$$

обозначая $k' = kU'_c/2$, получаем:

$$u_{вых(R-Y)} = k'(E_R - E_Y) + k'(E_R - E_Y)\cos 2\omega_c t + k'(E_B - E_Y)\sin 2\omega_c t.$$

Первый член правой части полученного выражения представляет в чистом виде цветоразностный сигнал. Два другие — высокочастотные (их поднесущая имеет частоту $2\omega_c$) и легко отфильтровываются фильтром низкой частоты.

Соответственно на выходе детекторов $B—Y$ получаем:

$$u_{вых(B-Y)} = k'(E_Y - E_B) - k'(E_B - E_Y)\cos 2\omega_c t + k'(E_R - E_Y)\sin 2\omega_c t.$$

На рис. 21, *а* представлена с некоторым упрощением блок-схема передающего устройства совместимой системы с цветоразностными

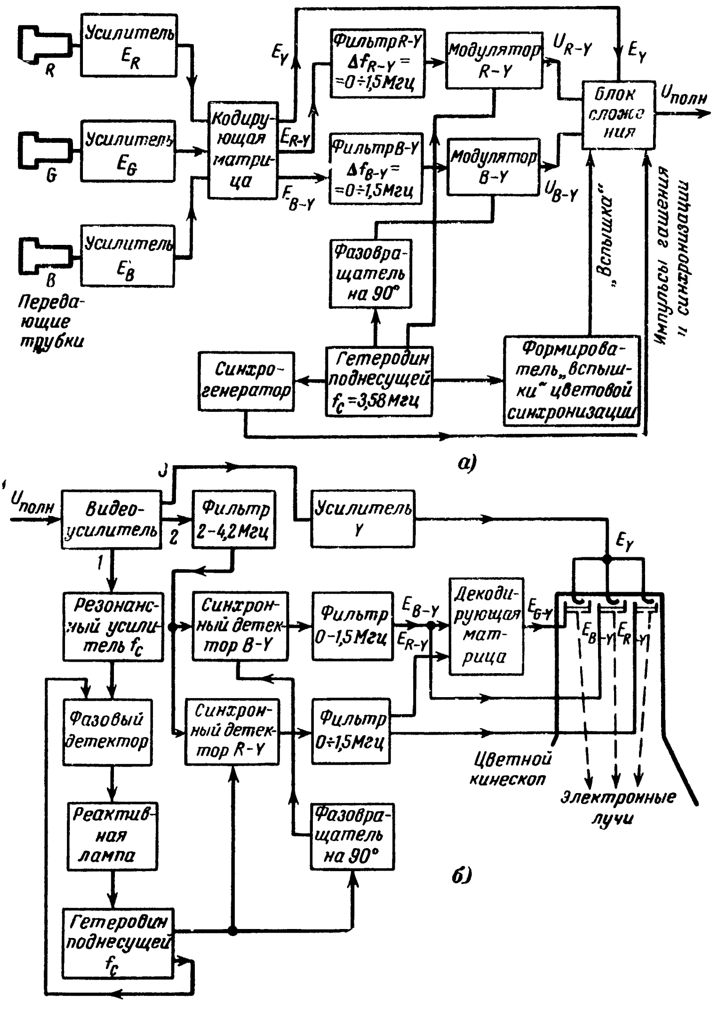


Рис. 21. Блок-схема системы NTSC.
а — передающая часть; *б* — приемная часть.

сигналами цветности и квадратурной модуляцией. Дадим краткое описание этой блок-схемы. Три сигнала от передающих трубок, соответствующие трем цветам, после усиления поступают на кодирующую матрицу, в которой алгебраическим сложением в нужной пропорции создаются: сигнал яркости E_Y и два цветоразностных сигнала цветности E_{B-Y} и E_{R-Y}. Сложение основных сигналов E_R, E_G и E_B должно проводиться в следующих пропорциях и со следующими знаками:

сигнал яркости $E_Y = 0{,}11\,E_B + 0{,}59\,E_G + 0{,}30\,E_R$;

сигнал $E_R - E_Y = -0{,}11\,E_B - 0{,}59\,E_G + 0{,}70\,E_R$;

сигнал $E_B - E_Y = 0{,}89\,E_B - 0{,}59\,E_G - 0{,}30\,E_R$.

Далее спектры цветоразностных сигналов ограничиваются фильтрами, с полосой пропускания 0—1,5 *Мгц*.

Заметим, что более полная блок-схема содержит узлы независимой коррекции формы амплитудных характеристик всех трех каналов, линии задержки, обеспечивающие точное временное совпадение сигналов E_Y, E_{R-Y} и E_{B-Y} в блоке сложения и др.

В блоках квадратурной модуляции цветоразностные сигналы помещаются на синусоидальную и косинусоидальную составляющие поднесущей (см. рис. 18, *а*).

В блок сложения поступают все сигналы, образующие полный сигнал цветного телевидения: сигнал яркости E_Y, сигналы цветности «в квадратуре» на одной поднесущей E_{R-Y} и E_{B-Y}, сигналы (импульсы) гашения луча, синхронизации разверток и сигнал цветовой синхронизации.

Для того чтобы поднесущая f_c была нечетной полугармоникой кадровой (строчной) частоты, необходима соответствующая связь через блок деления частоты между генератором поднесущей и синхрогенератором, что и показано на блок-схеме.

Чтобы избежать искажений цветовых тонов принимаемого изображения, фаза колебаний поднесущей во всех синхронных детекторах цветных телевизоров должна быть точно (до 5°) равна фазе поднесущей на передающем устройстве. Для этого в полный телевизионный сигнал во время обратного хода по строкам замешивается «вспышка» колебаний поднесущей (8—10 периодов). Форма такого сигнала цветовой синхронизации показана на рис. 22. Частота и фаза вспышки точно равны частоте и фазе поднесущей в передающем устройстве.

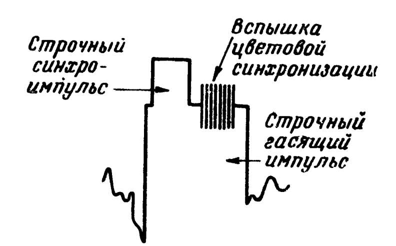


Рис. 22. Строчный гасящий импульс и синхроимпульс со вспышкой цветовой синхронизации.

Рассмотрим теперь также кратко блок-схему приемного устройства, показанную на рис. 21, *б*. После усиления на высокой частоте, промежуточной частоте и детектирования (эти узлы не показаны на рис. 21, *б*) сложный видеосигнал цветного телевидения усиливается и одновременно поступает в три блока.

1. Резонансный усилитель, настроенный на частоту поднесущей f_c, выделяет вспышки цветовой синхронизации. В фазовом детекторе происходит сравнение по фазе сигнала «вспышки» и напряжения местного гетеродина. Соответствующее напряжение ошибки с фазового детектора поступает на схему с реактивной лампой, которая и подстраивает местный гетеродин до нужной фазы.

2. Со второго выхода видеоусилителя сигнал через фильтр, имеющий полосу пропускания 2—4,2 *Мгц*, подается на входы синхронных детекторов. Назначение фильтра — подавить напряжение составляющих на всех частотах, лежащих вне спектра цветоразностных сигналов. Этим уменьшается мешающее действие на работу канала цветности значительной части сигнала яркости E_Y. Далее в канале цветности следуют блоки синхронного детектирования, работа которых объяснялась ранее. После ограничивающих фильтров с полосой 0÷1,5 *Мгц* цветоразностные сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y} подаются на входы декодирующей матрицы. Алгебраическое сложение этих двух сигналов в нужной пропорции создает на выходе матрицы третий цветоразностный сигнал.

Формула, определяющая этот сигнал через два других, имеет вид:

$$E_G - E_Y = -0{,}51\,(E_R - E_Y) - 0{,}19\,(E_B - E_Y).$$

3. С третьего выхода видеоусилителя сигнал яркости E_Y поступает на три параллельно соединенных катода цветного кинескопа. В свою очередь три цветоразностных сигнала подаются на соответствующие управляющие электроды. В данном случае кинескоп работает как матрица, т. е. между его катодами и управляющими электродами образуются сигналы трех основных цветов:

$$E_1 = (E_R - E_Y) + E_Y = E_R;$$
$$E_2 = (E_G - E_Y) + E_Y = E_G;$$
$$E_3 = (E_B - E_Y) + E_Y = E_B.$$

Впрочем, образование сигналов трех основных цветов можно получить и в трех отдельных простых матрицах.

Кроме блоков, указанных на рис. 21, *б*, в схеме телевизора должны, очевидно, иметься блоки развертки, синхронизации, устройство сведения лучей и др.

Сигналы *I* и *Q*

Для некоторого сокращения полосы частот сигналов цветности в системе NTSC вместо описанных выше цветоразностных сигналов E_{R-Y} и E_{B-Y} используются несколько иные по структуре, тоже цветоразностные сигналы, обозначаемые буквами *I* и *Q*:

$$E_I = 0{,}74\,(E_R - E_Y) - 0{,}27\,(E_B - E_Y);$$
$$E_Q = 0{,}48\,(E_R - E_Y) + 0{,}41\,(E_B - E_Y).$$

Экспериментами установлено, что при уменьшении размеров цветных деталей не только уменьшается их насыщенность, но также несколько изменяется субъективно видимый цветовой тон. Так, мелкие красные и желтые детали кажутся оранжевыми, синие и зеленые при уменьшении размера — сине-зелеными. Для использования этого свойства глаза в системе NTSC и выбраны новые цветоразностные сигналы. Вектор **I** на векторной диаграмме проходит через оранжевую и сине-зеленую область (рис. 18, пунктир) и сигнал *I*

способен, таким образом, один (без квадратурного вектора **Q**) передать эти цветовые тона мелких деталей. Вместе с перпендикулярным ему вектором цветности *Q* обеспечивается возможность передачи всех цветов на крупных деталях.

Для иллюстрации сказанного обратимся к графику спектра системы NTSC (рис. 17, *б*). Из этого рисунка видно, что цвет крупных деталей передается двумя боковыми обоих сигналов цветности 0—0,5 *Мгц* относительно поднесущей $f_c = 3{,}58$ *Мгц*. Однако на более мелких деталях (до границы частот 1,4 *Мгц*) остается только нижняя боковая сигнала *I*; верхняя боковая от 0,5 *Мгц* и выше подавлена. Как сказано ранее, один сигнал способен передавать только оранжевые и дополнительные к ним сине-зеленые цвета. Таким образом, крупные детали до 0,5 *Мгц* передаются во всех трех цветах, более мелкие до 1,4 *Мгц* — только в двух, а еще более мелкие — бесцветными.

Как видно из векторной диаграммы (рис. 19), цветоразностные сигналы *I* и *Q* должны иметь фазу, повернутую относительно *R—Y* и *B—Y* на 33°. Это достигается введением дополнительного фазовращателя в блоке квадратурной модуляции.

Кодирующие (на передаче) и декодирующие (на приеме) устройства при использовании сигналов *I* и *Q* также заметно усложняются, что сказывается на стоимости и эксплуатационной надежности цветного телевизора. Надо сказать, что качество изображения при использовании сигналов *I* и *Q* вместо *R—Y* и *B—Y* улучшается незначительно.

СИСТЕМА ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ SECAM

Особенности последовательно-одновременной системы

В 1954 г. во Франции было опубликовано описание новой системы цветного телевидения, предложенной Анри де Франсом. В этой системе, получившей название системы Анри де Франс, вместо яркостного сигнала передавались чередующиеся от строки к строке сигналы E_R и E_G. Третий цветовой сигнал E_B передавался на поднесущей в узкой полосе частот. Вследствие ряда недостатков эта система не нашла практического применения, и в 1956—1957 гг. был разработан новый вариант, фактически положивший начало целому семейству систем под названием SECAM.

Название SECAM, укрепившееся за системой Анри де Франс с 1959 г., произошло от слов «Séquence de Couleurs Avec Mémoire» — последовательная передача цветов с запоминанием. Первоначально в системе SECAM непрерывно передавался сигнал E_Y, а сигналы E_R и E_B передавались поочередно на поднесущей методом амплитудной модуляции. В дальнейшем вместо сигналов E_R и E_B в системе SECAM нашли применение цветоразностные сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y}.

В 1960—1961 гг. в SECAM применили частотную модуляцию поднесущей цветоразностными сигналами, что привело к улучшению качественных показателей системы. Применение частотной модуляции и принципа последовательной передачи цветоразностных сигналов — основное отличие SECAM от NTSC. В приемнике системы SECAM разделение цветоразностных сигналов осуществляется не по фазе, а по времени, что устранило необходимость в сложных узлах синхронного детектирования. Применение частотной модуляции цветовой поднесущей сделало систему SECAM малочувствительной к частотным и нелинейным искажениям в тракте передачи.

Возможность поочередной передачи сигналов цветности основывается на следующем соображении. Как рассматривалось ранее, неразличимость цвета мелких деталей позволяет ограничить полосу частот сигналов цветности примерно до 1,5 *Мгц*. Так как полная полоса частот телевизионного спектра составляет 6 *Мгц* и соответствует передаче наиболее мелких деталей, передаваемых в черно-белом виде яркостным сигналом E_Y, то окрашенные детали будут иметь размер вдоль строки по крайней мере в 6 *Мгц*/1,5 *Мгц*=4 раза больший, чем самые мелкие детали. Очевидно, что те же причины позволяют увеличить в 3—4 раза размер окрашенных мелких деталей поперек строк.

Это обстоятельство и используется в системе SECAM, как и в первоначальной системе Анри де Франс. Цветоразностные сигналы передаются поочередно: в течение одной строки — сигнал E_{R-Y}, в течение следующей — E_{B-Y} и т. д. Таким образом, цветовая информация как для сигнала E_{R-Y}, так и для сигнала E_{B-Y} снимается только с половины строк. При этом предполагается, что в пропущенных строках цветовая информация идентична соседним. Иными словами, для сигналов цветности развертка на полный кадр будет содержать вдвое меньшее количество строк, что приведет к соответствующему увеличению размеров окрашенных мелких деталей по вертикали. Четкость по вертикали при этом не упадет, так как более мелкие детали передаются сигналом яркости E_Y с полным числом строк развертки.

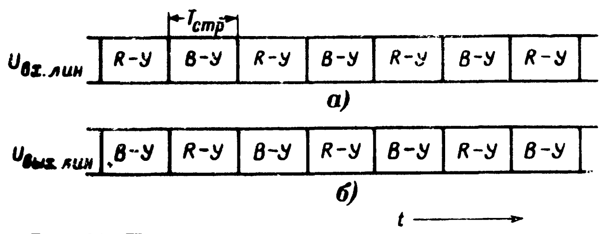
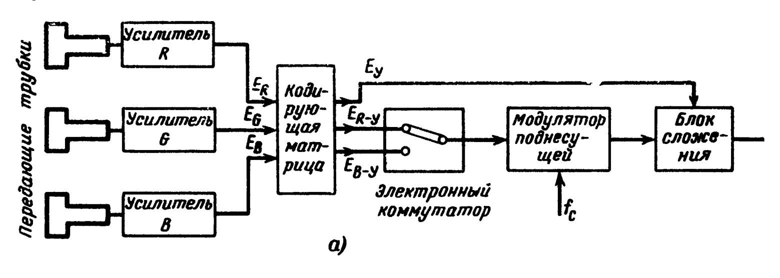


Рис. 23. Порядок чередования сигналов цветности.
а — на входе линии задержки; *б* — на выходе линии задержки.

В телевизионном приемнике для правильной работы цветного кинескопа необходимо иметь одновременно три цветоразностных сигнала: E_{R-Y}, E_{B-Y} и E_{G-Y}. Для этой цели в телевизоре SECAM используется ячейка памяти — линия задержки со временем задержки на одну строку $\tau_{зад}=T_{стр}=64$ *мксек*. При воспроизведении цветного изображения каждый сигнал цветности используется дважды: один раз он берется со входа линии задержки, другой раз — с ее выхода. Сказанное поясняет рис. 23. Так как сигналы цветности передаются поочередно с интервалом в одну строку, а задержка линии также равна длительности одной строки, сигналы цветности на входе и выходе линии оказываются разными, т. е. если в данный момент на входе имеется сигнал E_{R-Y}, то на выходе — E_{B-Y}. Таким образом, линия задержки дает возможность всегда иметь одновременно оба сигнала цветности. В соответствующей матрице можно получить третий цветоразностный сигнал E_{G-Y}.

Обратившись к рис. 23, замечаем, что сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y} на входе и выходе линии задержки периодически меняются местами. Отсюда возникает необходимость соответствующего переключения обоих входов матрицы с таким расчетом, чтобы на ее первом входе был всегда только сигнал E_{R-Y}, а на втором — E_{B-Y}. Для этой цели в телевизоре используется специальный электронный коммутатор.

Принципы работы системы SECAM в самом упрощенном виде поясняются блок-схемами, показанными на рис. 24. Так же как и в других системах в кодирующей матрице передающего устройства (рис. 24, *а*) образуются три сигнала: сигнал яркости E_Y и два цветоразностных сигнала E_{R-Y} и E_{B-Y}. При помощи электронного коммутатора, работающего с частотой строк, сигналы цветности по очереди поступают в модулятор поднесущей. В блоке сложения образуется полный сигнал цветного телевидения.



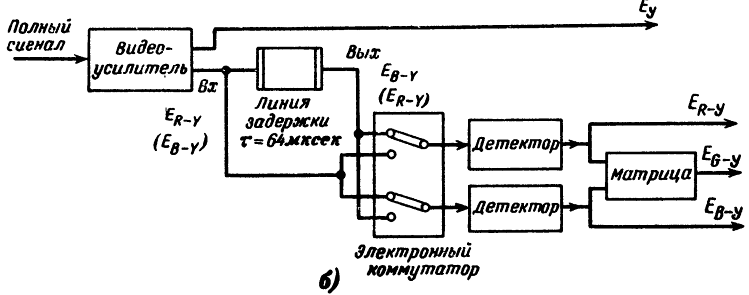


Рис. 24. Блок-схемы передающей и приемной аппаратуры системы SECAM.

а — блок-схема устройства формирования сигналов цветности на передающем конце; *б* — блок-схема формирования цветовых сигналов в приемнике.

В приемнике (рис. 24, *б*) цветоразностные сигналы, образующиеся на входе и выходе линии задержки, через электронный коммутатор и частотные детекторы подаются на два входа декодирующей матрицы, формирующей третий цветоразностный сигнал E_{G-Y}.

Таким образом, при поочередной (построчной) передаче сигналов цветности в приемнике в результате использования элемента памяти — линии задержки одновременно образуются три сигнала цветности. Поэтому рассматриваемую систему часто называют последовательно-одновременной.

Основные параметры системы SECAM

Как отмечалось выше, система SECAM в процессе своего развития многократно видоизменялась. Всего насчитывается шесть вариантов этой системы с настотной модуляцией. Поскольку промежуточные варианты имеют в настоящее время лишь историческое значение, мы будем их касаться лишь в тех случаях, когда это необходимо для пояснения принципов действия последнего варианта SECAM-III*б*, принятого к эксплуатации в СССР.

В системе SECAM применяется частотная модуляция поднесущей сигналами цветности. Цветовая поднесущая вместе с двумя боковыми для уменьшения заметности помех располагается в высокочастотной части спектра сигнала яркости. Для того чтобы уместить цветовую информацию в отведенном для нее участке частотного диапазона, сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y} передаются в сокращенной полосе частот.

Система SECAM совместима с системой черно-белого телевидения, поэтому ее основные параметры соответствуют параметрам стандартной системы черно-белого телевидения: число строк 625, частота полукадров 50 *гц*, разнос несущих изображения и звука 6,5 *Мгц*. Формирование цветовых сигналов *R*, *G* и *B*, выбор координат первичных цветов и опорного белого цвета осуществляется так же, как в NTSC, т. е. яркостный сигнал определяется из уравнения

$$E_Y = 0{,}11\,E_B + 0{,}59\,E_G + 0{,}30\,E_R,$$

а цветоразностные сигналы — из уравнений

$$E_{R-Y} = 0{,}70\,E_R - 0{,}59\,E_G - 0{,}11\,E_B\,;$$

$$E_{B-Y} = 0{,}89\,E_B - 0{,}59\,E_G - 0{,}30\,E_R\,.$$

Следует отметить, что в системе SECAM принято передавать сигнал E_{B-Y} в положительной полярности, а E_{R-Y} — в отрицательной. Отрицательная полярность сигнала E_{R-Y} выбрана из следующих соображений. Статистические исследования показали, что для большинства сюжетов преобладают положительные значения сигнала E_{R-Y} и отрицательные E_{B-Y}. При наличии частотной модуляции это приводит к тому, что отклонение поднесущей по частоте от номинального значения будет при передаче сигнала E_{R-Y} в основном в сторону увеличения, а при передаче E_{B-Y} в сторону уменьшения. Изменение полярности U_{R-Y} на отрицательную приводит к тому, что при передаче как сигнала U_{R-Y}, так и U_{B-Y} будет преобладать отрицательная девиация частоты. Это повышает устойчивость системы SECAM к ограничению верхней полосы передаваемых частот. Кроме того, это значительно улучшает совместимость системы.

В системе SECAM, так же как и в NTSC, цветовые сигналы образуют на экране черно-белого приемника помеху в виде мелкоструктурной сетки. Получить компенсацию этой помехи выбором частоты поднесущей, равной нечетной гармонике полустрочной частоты, не представляется возможным, так как в системе SECAM вследствие использования частотной модуляции частота поднесущей непостоянна. Устранение заметности цветовых сигналов на экране приемника осуществляется за счет периодического изменения фазы поднесущей частоты на 180° через две строки с помощью специального коммута-

тора. При такой коммутации фазы напряжения поднесущей в двух смежных кадрах оказываются противоположными, и происходит компенсация помехи.

Тем не менее компенсация сигналов цветности на экране черно-белого приемника не является полной. Действительно, для того чтобы произошла компенсация сигнала цветиости, необходимо, чтобы этот сигнал был одинаков по частоте для двух смежных кадров. Это условие не выполняется, так как в системе SECAM сигналы цветности чередуются от строки к строке, и если, например, в течение первой строки первого кадра передается один цветоразностный сигнал, то в течение времени передачи той же строки следующего кадра передается другой цветоразностный сигнал.

Для того чтобы компенсация была полной, необходимо, чтобы сигналы были по возможности идентичны, хотя бы для наиболее часто встречающихся цветов. Для рассмотрения этого вопроса обратимся к векторной диаграмме рис. 19. Практика показывает, что наиболее часто встречающимися являются цвета, лежащие в левом верхнем и правом нижнем квадрантах диаграммы, т. е. цвета красный, оранжевый, желтый и дополнительные к ним сине-зеленые оттенки. Для этих цветов один из цветоразностных сигналов будет иметь отрицательную полярность.

Так как применяется частотная модуляция, то при сигнале положительной полярности частота поднесущей станет выше номинальной, а при отрицательной — ниже номинальной. Таким образом, частоты поднесущей при передаче одного и того же участка изображения в двух смежных кадрах будут различны и компенсации помехи за счет изменения фазы на 180° не произойдет.

Для уменьшения видимости помехи на указанных цветах в системе SECAM целесообразно передавать вместо сигнала E_{R-Y} сигнал $-E_{R-Y}$ отрицательной полярности. При этом полярность цветоразностных сигналов для наиболее часто встречающихся цветов получается одинаковой, компенсация за счет покадрового изменения фазы поднесущей на 180° — более полной и помеха от сигнала цветности менее заметной.

Ширина спектра сигналов цветности, модулирующих цветовую поднесущую по частоте, зависит от индекса частотной модуляции $m = \Delta F / F_{\text{макс}}$, который определяется отношением частотной девиации ΔF (отклонение частоты от номинальной) к максимальной частоте сигналов цветности $F_{\text{макс}}$. В системе SECAM максимальная частота передаваемых сигналов цветности несколько выше 1 *Мгц*, а частотная девиация $\Delta F = 230$ *кгц*. С точки зрения повышения помехоустойчивости канала цветности желательно увеличивать индекс частотной модуляции m. Однако увеличение индекса частотной модуляции приводит к расширению полосы частот канала цветности и к увеличению заметности помех от сигнала цветности на экране черно-белого приемника. Поэтому в системе SECAM пришлось выбрать индекс частотной модуляции меньше единицы. Для уменьшения уровня помех от сигнала цветности амплитуда сигналов частотно-модулированной поднесущей выбирается не более 10—12% от размаха сигнала яркости. При таком уровне сигнала цветовой поднесущей и малом индексе частотной модуляции помехоустойчивость системы SECAM оказывается несколько ниже помехоустойчивости системы NTSC.

Предыскажения цветовых сигналов

Для увеличения помехоустойчивости в системе SECAM осуществляется предыскажение цветовых сигналов. Цветоразностные сигналы, которые модулируют цветовую поднесущую, подвергаются предыскажению с помощью схемы, коэффициент усиления которой увеличивается с повышением частоты. Частотная характеристика этой схемы имеет вид, показанный на рис. 25, *а*. Предыскажение увеличивает в несколько раз размах высокочастотных компонент сигнала цветности по сравнению с низкочастотными. Этот вид предкоррекции носит название низкочастотной, поскольку ей подвергается видеосигнал. В результате низкочастотного предыскажения на фронтах цветоразностных сигналов возникают выбросы, которые могут превышать в 3 раза размах видеосигнала. Так как трехкратное превышение динамического диапазона, а следовательно, и частотной девиации недопустимо, после низкочастотной предкоррекции осуществляется двустороннее ограничение видеосигнала, которое уменьшает величину выбросов.

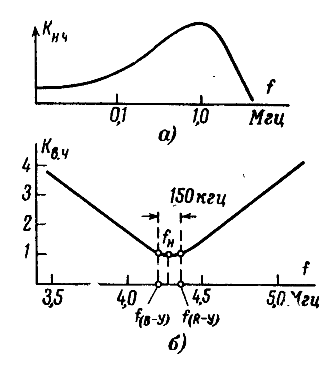


Рис. 25. Частотные характеристики предыскажений.
а — низкочастотного предыскажения; *б* — высокочастотного предыскажения.

Частотные предыскажения позволяют улучшить помехоустойчивость системы. При частотной модуляции величина помехи в канале цветности зависит от ее частоты. Если частота помехи точно равна номинальной частоте поднесущей $f_с$, то помеха вызывает лишь паразитивную амплитудную модуляцию, которая устраняется ограничителем в приемнике. При отличии частоты помехи от номинальной частоты поднесущей помеха вызывает паразитную частотную модуляцию. Теория показывает, что величина паразитной частотной девиации, вызываемая синусоидальной помехой, определяется следующим выражением:

$$f_д = \frac{U_п}{U_{подн}} \Delta F_п,$$

где $U_п$ — амплитуда помехи; $U_{подн}$ — амплитуда поднесущей; $\Delta F_п$ — отклонение частоты помехи от номинальной частоты поднесущей; $f_д$ — паразитная девиация частоты.

Из этого выражения видно, что величина паразитной частотной девиации, а следовательно, и амплитуда помехи на выходе частотного детектора приемника прямо пропорциональна величине $\Delta F_п$, т. е. чем больше отличается частота помехи от номинальной частоты поднесущей, тем выше уровень помехи в системе с частотной модуляцией.

Для улучшения помехоустойчивости при передаче сигналов цветности в системе SECAM и применяются низкочастотные предыскажения, которые увеличивают размах сигнала высокочастотных компонент и тем самым улучшают отношение сигнал/помеха в канале цветности при относительно больших $\Delta F_п$.

После частотной модуляции поднесущей сигналы цветности подвергаются дополнительной обработке. Обработка модулированного

по частоте сигнала цветности заключается в том, что этот сигнал проходит через схему, подавляющую частоты, близкие к номинальным частотам поднесущих (рис. 25, *б*). Как видно из рисунка, амплитуда поднесущих после прохождения через такое предыскажающее устройство подавляется наиболее сильно. Этим предыскажением уменьшается заметность поднесущих на черно-белом совместимом изображении и дополнительно увеличивается помехоустойчивость.

Для восстановления первоначальных сигналов в телевизионном приемнике осуществляются обратные частотные преобразования, восстанавливающие прежний уровень поднесущей и ослабляющие высокочастотные компоненты сигналов цветности.

Применение низкочастотных и высокочастотных предыскажений позволило получить выигрыш в помехоустойчивости по мощности приблизительно в 7 раз.

Следует отметить еще одно важное мероприятие, направленное на улучшение помехоустойчивости системы, впервые примененное в системе SECAM-IIIб. Как ранее отмечалось в системе, SECAM применяется частотная модуляция поднесущей попеременно сигналами E_{R-Y} и E_{B-Y}. В системе SECAM-IIIб для передачи сигналов цветности применяется не одна, а две поднесущих, частоты которых отличаются приблизительно на 150 *кгц*. Обе поднесущие частоты выбираются гармониками строчной частоты, причем для передачи сигнала E_{R-Y} используется частота

$$f_{(R-Y)} = 282 f_{\text{стр}} = 4406{,}25 \text{ кгц} \pm 2 \text{ кгц},$$

а для передачи сигнала E_{B-Y}

$$f_{(B-Y)} = 272 f_{\text{стр}} = 4\,250 \text{ кгц} \pm 2 \text{ кгц}.$$

Значения девиации частоты для сигналов E_{R-Y} и E_{B-Y} равны соответственно:

$$\Delta f_{(R-Y)} = 280 \text{ кгц}; \quad \Delta t_{(B-Y)} = 230 \text{ кгц}.$$

Применение двух поднесущих частот $f_{(R-Y)}$ и $f_{(B-Y)}$ объясняется следующим образом. В вариантах системы SECAM предшествующих системе SECAM-IIIб была единая частота покоя при передаче обоих цветоразностных сигналов $f_н = 4{,}43$ *Мгц*. На эту частоту устанавливался минимум кривой высокочастотной предкоррекции (рис. 25, *б*). Оказалось, что при передаче большинства сюжетов преобладали шумы на красном цвете. Подавление шумов, которое осуществляется фильтром высокочастотной коррекции, зависит от частоты передаваемого сигнала. Так как в SECAM информация о передаваемом цвете заложена в частоте поднесущей, то подавление шумов оказывается различным для различных цветов. Как показывают расчеты и эксперименты, подавление шумов максимально для частоты, совпадающей с минимумом колоколообразной кривой, и уменьшается по мере сдвига частоты в стороны. Номинальная частота поднесущей получается в том случае, когда цветоразностные сигналы равны нулю. Как было показано ранее, это наблюдается при передаче черно-белых деталей изображения. Таким образом, оптимальные условия передачи были не для красных деталей изображения (на которых шумы наиболее заметны), а для черно-белых деталей. В поисках компромисса было решено расположить частоты, с помощью которых передается красный цвет как в сигнале E_{R-Y}, так и в сигнале E_{B-Y} в одном

районе, близком к минимуму колоколообразной кривой (рис. 25, *б*). Для этого потребовалось сдвинуть средние частоты сигналов E_{R-Y} и E_{B-Y} приблизительно на 150 *кгц*. Точные значения поднесущих определялись из условия кратности частоте строк. Применение для передачи цветоразностных сигналов двух поднесущих частот привело к повышению помехоустойчивости системы.

В системе SECAM имеется еще один вид предыскажений — дополнительная амплитудная модуляция суммарного цветового сигнала, необходимость которого вызвана изменением уровня яркостного сигнала в полосе частот канала цветности. Дело в том, что в приемнике цветного телевидения яркостный видеосигнал по отношению к сигналу цветности является помехой. Энергия яркостного сигнала, приходящаяся на участок частотного диапазона, где передаются сигналы цветности, а следовательно, и величина помехи зависят от характера передаваемого изображения. Предыскажения заключаются в том, что если размах составляющих яркостного сигнала, находящихся в полосе канала цветности, превосходит 70% номинальной амплитуды поднесущей, сигналы цветности временно усиливаются. При этом уменьшается вредное влияние помех яркостного сигнала в канале цветности приемника. Если же сигнал яркости таков, что его энергия в той области частотного спектра, где передаются сигналы цветности, невелика, дополнительная амплитудная модуляция отсутствует. Таким образом, удается добиться улучшения отношения сигнал/шум в канале цветности.

Кодирующее устройство SECAM

Упрощенная блок-схема кодирующего устройства системы SECAM изображена на рис. 26. Сигналы E_R, E_G и E_B поступают на кодирующую матрицу, которая вырабатывает сигналы E_Y, E_{R-Y} и E_{B-Y}. Сигнал E_Y поступает на смеситель, в котором осуществляется замешивание синхроимпульсов. Сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y} также поступают на смесители, в которых происходит замешивание сигналов опознания цвета, которые служат для установления правильной фазы работы электронного коммутатора в приемнике. Далее сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y} проходят блоки низкочастотных предыскажений и поступают на электронный коммутатор. Электронный коммутатор осуществляет поочередное подключение сигналов E_{R-Y} и E_{B-Y} на вход частотно-модулируемого генератора. Переключение коммутатора осуществляется от строки к строке с помощью специальных коммутирующих импульсов прямоугольной формы, создаваемых специальным генератором.

Частотно-модулированный сигнал поступает на коммутатор фазы поднесущей и с него на блок высокочастотных предыскажений. Далее цветовой сигнал подвергается дополнительной амплитудой модуляции. Для этого с помощью полосового фильтра из сигнала E_Y выделяются частотные компоненты, лежащие вблизи поднесущей частоты, и детектируются амплитудным детектором. Образующееся напряжение подается на амплитудный модулятор. Как уже отмечалось, с помощью дополнительной амплитудной модуляции цветовой поднесущей удается уменьшить помехи, вызываемые сигналом яркости на цветном изображении. Смешение сигнала яркости с сигналами цветности осуществляется в блоке сложения. На выходе блока сложения образуется полный видеосигнал.

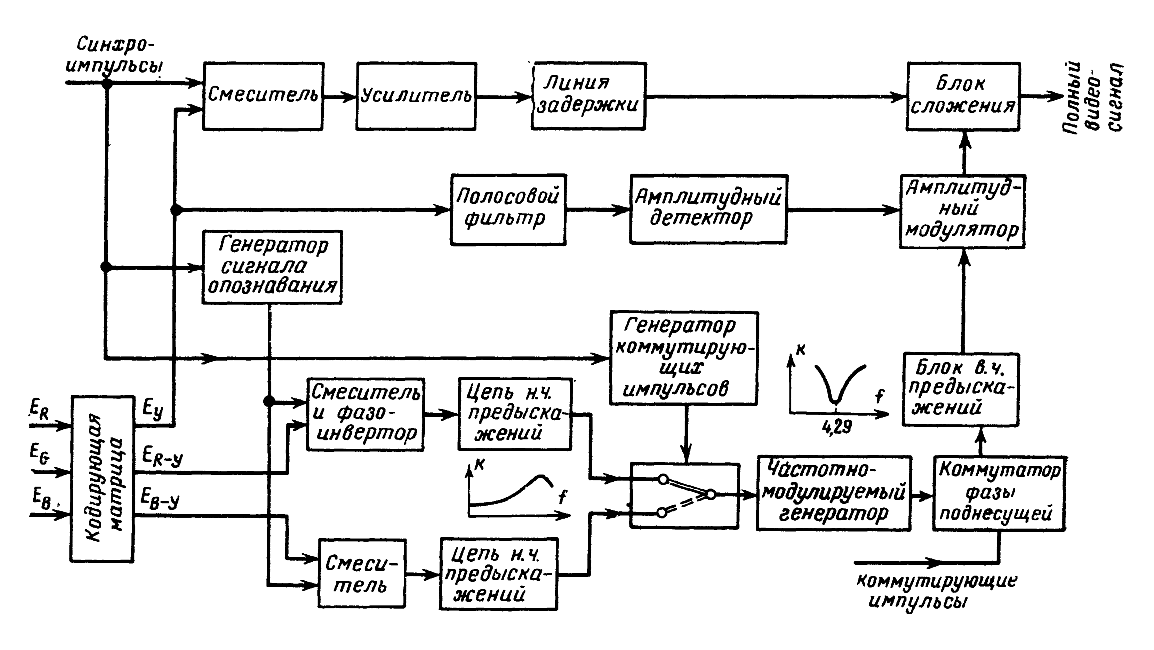


Рис. 26. Блок-схема кодирующего устройства SECAM.

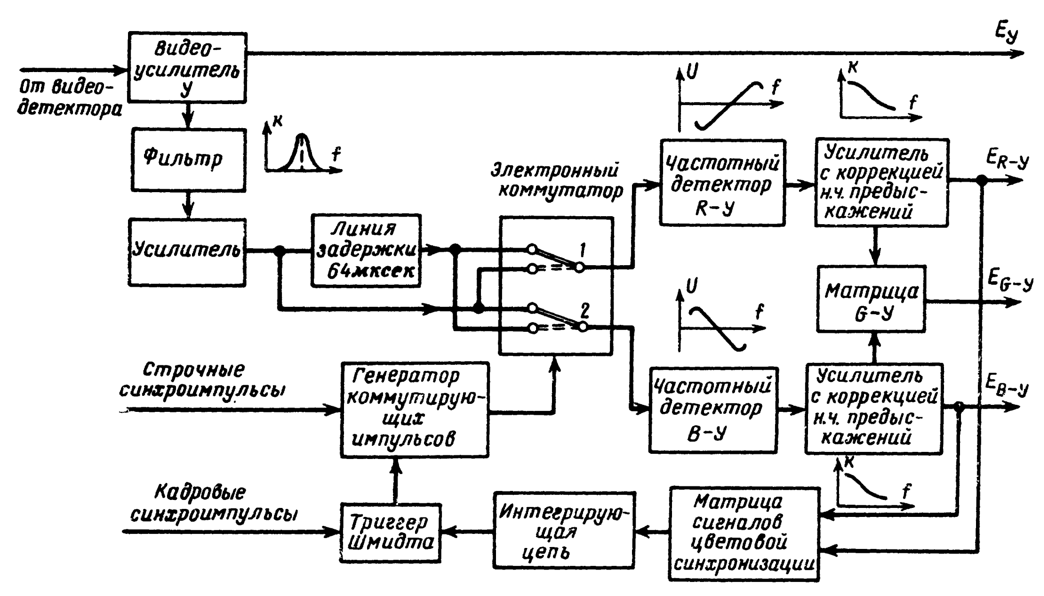


Рис. 27. Блок-схема декодирующего устройства SECAM.

Декодирующее устройство SECAM

В декодирующем устройстве цветного телевизора осуществляется выделение сигналов цветности. Упрощенная блок-схема декодирующего устройства SECAM изображена на рис. 27. Сигнал с одного из промежуточных каскадов видеоусилителя яркостного сигнала E_Y поступает на полосовой усилитель с частотной характеристикой колоколообразной формы (рис. 28, *а*). В полосовом усилителе осуществляется выделение частотно-модулированного сигнала из полного сигнала и коррекция высокочастотных предыскажений. После усиления сигнал поступает на линию задержки, время задержки которой равно длительности передачи одной строки изображения, т. е. 64 *мксек*. Электронный коммутатор и линия задержки необходимы для одновременного получения сигналов E_{R-Y} и E_{B-Y}. Таким образом, на выходе *2* электронного коммутатора всегда имеется сигнал E_{B-Y}, а на выходе *1* — сигнал E_{R-Y}. Линия задержки в декодирующем устройстве системы SECAM выполняет роль элемента памяти, с помощью которого один из цветовых сигналов запоминается на время передачи одной строки и воспроизводится при передаче другой строки изображения одновременно с другими цветовым сигналом. При этом в приемнике имеются одновременно необходимые для матрицирования оба сигнала E_{R-Y} и E_{B-Y}.

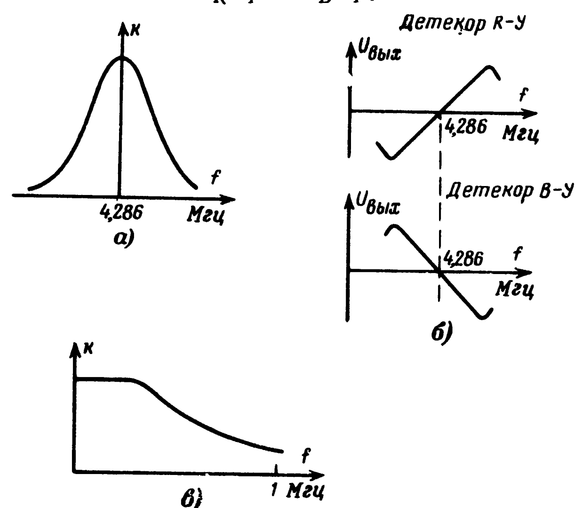


Рис. 28. Частотные характеристики отдельных элементов декодирующего устройства.

а — частотная характеристика устройства коррекции высокочастотных предыскажений; *б* — амплитудные характеристики детекторов; *в* — частотная характеристика устройства коррекции низкочастотных предыскажений.

С выхода электронного коммутатора частотно-модулированные цветовые сигналы поступают на частотные детекторы. Наклоны амплитудных характеристик в каналах (*R*—*Y*) и (*B*—*Y*) противоположны (рис. 28, *б*). Это значит, что при уменьшении частоты сигналов

на входах детекторов на выходе детектора канала ($R—Y$) образуется отрицательное напряжение, а на выходе канала ($B—Y$) положительное напряжение. По этой причине происходит изменение полярности сигнала на выходе частотного детектора канала ($R—Y$), и оба сигнала ($R—Y$) и ($B—Y$) имеют одинаковую полярность. С выхода частотных детекторов сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y} поступают на видеоусилители, в которых осуществляется коррекция предыскажений высокочастотных составляющих в видеосигнале (рис. 28, *б*).

Формирование сигнала E_{G-Y} осуществляется в матрице, на входы которой подаются сигналы E_{B-Y} и E_{R-Y}. Таким образом, на выходе декодирующего устройства получаются три цветоразностных сигнала.

Для того чтобы сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y} попадали в свои каналы, необходимо, чтобы был соблюден порядок переключения коммутатора. Для управления работой электронного коммутатора служат импульсы прямоугольной формы, вырабатываемые в генераторе коммутирующих импульсов.

Фаза коммутирующего сигнала должна быть такой, чтобы обеспечивалось правильное восстановление сигналов на выходах *1* и *2* коммутатора. Для установления нужной фазы коммутирующего сигнала служит схема опознания цвета. В этой схеме с помощью матрицы сигналов цветовой синхронизации и кадровых синхронизирующих импульсов выделяется сигнал цветовой синхронизации. Если положение переключателей электронного коммутатора не соответствует приходящим цветовым сигналам, схема опознавания цвета изменяет фазу коммутирующих импульсов. Эта же схема осуществляет запирание каналов цветности при передаче черно-белых изображений.

Работа коммутатора и схемы цветовой синхронизации

Как уже отмечалось, работа электронного коммутатора в приемнике должна происходить таким образом, чтобы сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y} всегда попадали в соответствующие каналы. Для распознавания приходящих сигналов необходимо передавать соответствующую информацию. Сигнал опознавания цвета (сигнал цветовой синхронизации) удобно передавать либо во время обратного хода луча по строке сразу после синхронизирующего импульса, либо во время обратного хода по кадру. Теоретически нет необходимости передавать сигналы цветовой синхронизации в течение всего времени телевизионной передачи. Достаточно один раз в начале передачи установить правильную фазу работы электронного коммутатора. Однако практически из-за наличия помех, которые могут попадать в канал цветности телевизионного приемника, возможно нарушение правильной фазы работы коммутатора. Поэтому оказывается необходимым регулярно передавать сигналы цветовой синхронизации.

В системе SECAM сигнал цветовой синхронизации передается с частотой полукадров, после окончания задних уравнивающих импульсов, следующих после импульса кадровой синхронизации. Сигналы опознавания формируются в кодирующем устройстве в виде серии из девяти импульсов трапецеидальной формы отрицательной полярности (рис. 29, *а*). Эти импульсы, имеющие длительность строки, замешиваются в кодирующем устройстве в оба цветоразностных сигнала. Так как сигнал E_{R-Y} принято передавать в отрицательной полярности в кодирующем устройстве, он проходит через фазоинвер-

тор. Вместе с сигналом E_{R-Y} меняют полярность импульсы опознавания цвета и они становятся положительными. Электронный коммутатор кодирующего устройства, переключаясь от строки к строке, пропускает на выход попеременно сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y}. Во время передачи кадровых гасящих импульсов коммутатор продолжает работать и на его выход проходят по очереди импульсы опознавания цвета то положительной, то отрицательной полярности (рис. 29, *б*). Сигналы опознавания цвета поступают на ча тотный модулятор и модулируют поднесущую по частоте. Так как юсле частотной модуляции сигнал проходит схему высокочастотных предыскажений, имеющую неравномерную частотную характеристику, сигнал опознавания преобретает дополнительную амплитудную модуляцию, как это показано на рис. 29, *в*. В приемнике после коррекции высокочастотных предыскажений амплитудная модуляция устраняется.

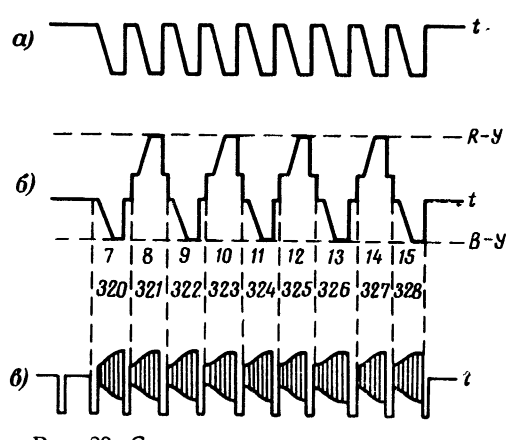


Рис. 29. Сигналы опознавания цвета.
а — импульсы сигнала опознавания; *б* — сигналы опознавания на выходе коммутатора; *в* — сигналы опознавания на выходе кодирующего устройства.

Вместе с сигналами E_{R-Y} и E_{B-Y} сигналы опознавания цвета поступают на частотный детектор и детектируются. При правильной фазе цветовой коммутации на выходе канала (*R—Y*) импульсы опознавания имеют отрицательную полярность. На выходе канала (*B—Y*) импульсы также будут отрицательны, так как диоды в этом частотном детекторе включены в отрицательной полярности. При неправильной фазе цветовой коммутации сигналы цветовой синхронизации будут положительны на выходах обоих каналов. С выхода каналов (*R—Y*) и (*B—Y*) сигналы поступают на матрицу сигналов цветовой синхронизации, где происходит их сложение. Суммарный сигнал интегрируется и подается на триггер Шмидта, на который поступают также кадровые синхроимпульсы отрицательной полярности. Упрощенная схема этого триггера показана на 30, *а*. Он работает следующим образом. При увеличении отрицательного потенциала на базе транзистора T_1 до значения $U_{от}$ (рис. 30, *б*) этот транзистор отопрется и останется в таком состоянии и при дальнейшем увели-

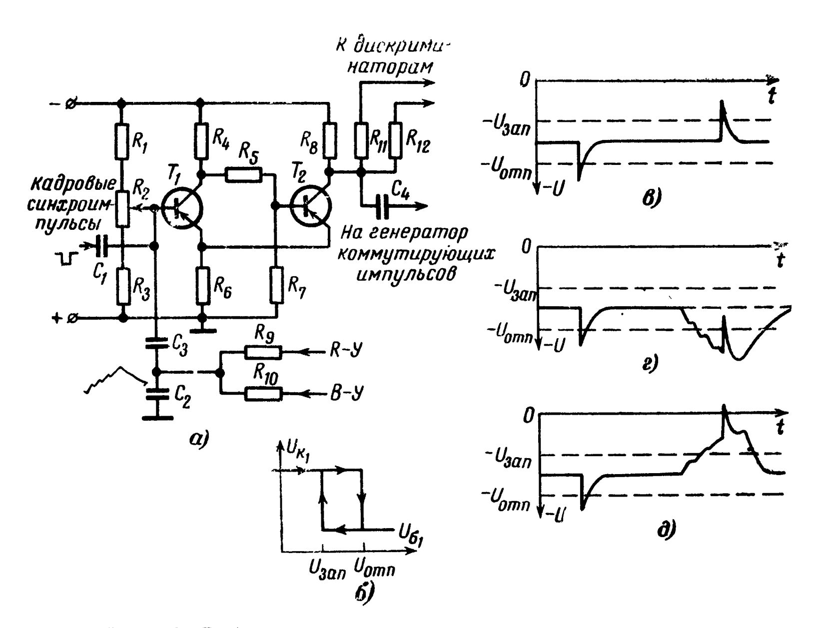


Рис. 30. Работа схемы опознавания цвета в приемнике.

а — триггер схемы опознавания; *б* — работа триггера; *в* — управляющий сигнал триггера при приеме черно-белого изображения; *г* — управляющий сигнал при правильной фазе работы триггера; *д* — управляющий сигнал при неправильной фазе работы триггера.

чении отрицательного потенциала. Если теперь начать уменьшать потенциал на базе T_1, то транзистор запрется при напряжении $U_{зап}$ меньшем, чем $U_{отп}$. В блоке цветности напряжение смещения на триггере устанавливают между значениями $U_{зап}$ и $U_{отп}$ и подают на базу T_1 продифференцированные кадровые запирающие импульсы, как это показано на рис. 30, *в*. Фронт импульса отпирает T_1 (одновременно запирая T_2), а спад вызывает обратное действие. В результате на коллекторе T_2 образуются прямоугольные импульсы, которые используются как напряжение смещения для дискриминаторов в каналах ($R—Y$) и ($B—Y$). Таким образом, каналы блока открываются на периоды кадровых гасящих импульсов и закрыты все остальное время. Через конденсатор C_4 импульсы подаются на генератор коммутирующих импульсов, в качестве которого используется симметричный триггер, вызывая в каждый полукадр изменение фазы коммутации. В таком режиме блок цветости работает при приеме черно-белых программ.

Когда приемник переключается на прием цветной программы, импульсы опознавания с выходов каналов ($R—Y$) и ($B—Y$) через резисторы R_9 и R_{10} поступают на конденсатор C_2. Резисторы R_9, R_{10} и конденсатор C_2 образуют интегрирующую цепочку. Сигнал с конденсатора C_2 подается на базу транзистора T_1, куда также поступает продифференцированный кадровый импульс. При правильной фазе цветовой коммутации сигналы опознавания цвета будут иметь отрицательную полярность, а так как во времени они совпадают со-

спадом кадрового гасящего импульса, то сигнал на базе T_1 примет вид, показанный на рис. 30, *г*, и оба канала цветности будут открыты. Если фаза коммутации неправильна, то импульсы опознавания цвета будут положительными, триггер сработает, импульс, образующийся на коллекторе T_2, запрет каналы цветности, а на симметричный триггер поступит корректирующий импульс, меняющий фазу коммутации на правильную.

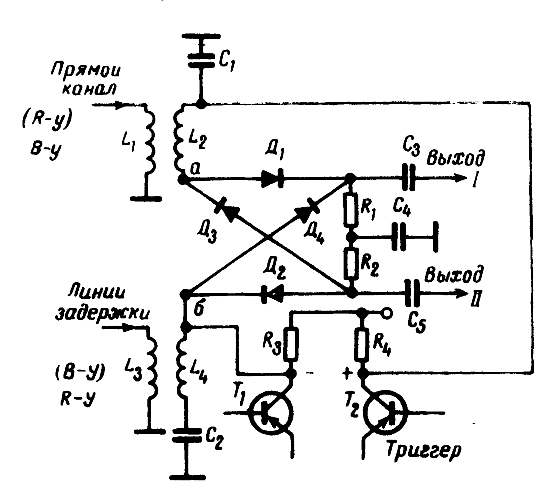


Рис. 31. Схема электронного коммутатора.

Схема электронного коммутатора изображена на рис. 31. Коммутатор собран на четырех диодах $Д_1$—$Д_4$. Управляющие импульсы поступают в точки *а* и *б* коммутатора с триггера, собранного на транзисторах T_1 и T_2. Сигнал цветности поступает в те же точки электронного коммутатора через два трансформатора, состоящие из катушек L_1—L_2 и L_3—L_4. Когда T_1 триггера заперт, а T_2 отперт, потенциал точки *а* выше потенциала точки *б*. При этом диоды $Д_1$ и $Д_2$ отперты, а $Д_3$ и $Д_4$ заперты. Сигнал *R—Y*, поступающий с прямого канала, проходит на выход *I*, а сигнал *B—Y* — на выход *II*.

При передаче следующей строки изображения с прямого канала будет поступать сигнал *B—Y*, а с линии задержки *R—Y*. Управляющий импульс переведет триггер в противоположное состояние, потенциал точки *а* станет ниже потенциала точки *б*, диоды $Д_1$ и $Д_2$ запрутся, а $Д_3$ и $Д_4$ отопрутся. Сигнал (*R—Y*) через $Д_4$ поступит на выход *I*, а (*B—Y*) с точки *а* поступит на выход *II*. Таким образом, благодаря коммутации на выходе *I* всегда имеется сигнал *R—Y*, а на выходе *II* сигнал *B—Y*.

СИСТЕМА ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ PAL

Принцип действия

Ранее отмечалось, что в системе SECAM используется ряд принципов, предложенных при разработке NTSC. Отличие заключается лишь в применяемом способе модуляции цветовой поднесущей и последовательном способе передачи цветоразностных сигналов от

строки к строке. Система PAL еще меньше отличается от NTSC, так как в ней также применяется квадратурный метод модуляции поднесущей сигналами цветности. Основное отличие заключается в том, что для устранения фазовых искажений в системе PAL применяется изменение фазы поднесущей одного из цветоразностных сигналов от строки к строке. Эта особенность нашла свое отражение в названии системы. PAL — сокращенное Phase Alternation Line — означает изменение фазы от строки к строке. Для разделения сигналов цветности в приемнике PAL, так же как и в приемнике SECAM, применяется линия задержки. По этой причине можно считать, что система PAL по принципу действия занимает промежуточное положение между NTSC и SECAM.

Принцип действия системы PAL заключается в следующем. Сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y}^{*} модулируют поднесущую методом квадратурной модуляции. Однако фаза поднесущей, предназначенной для передачи сигнала $E_{(R-Y)}$, меняется от строки к строке на 180°. Векторные диаграммы цветовых сигналов в двух соседних строках изображены на рис. 32. В приемнике осуществляется запоминание сигналов цветности на время передачи одной строки, а затем оба сигнала складываются. При этом предполагается, что сигналы двух соседних строк практически не отличаются друг от друга. Процесс сложения сигналов поясняется на рис. 33, *а*. Векторы, изображающие сигналы $E_{(R-Y)1}$ и $E_{(R-Y)2}$, равны и направлены в противоположные стороны. В результате сложения происходит их взаимная компенсация.

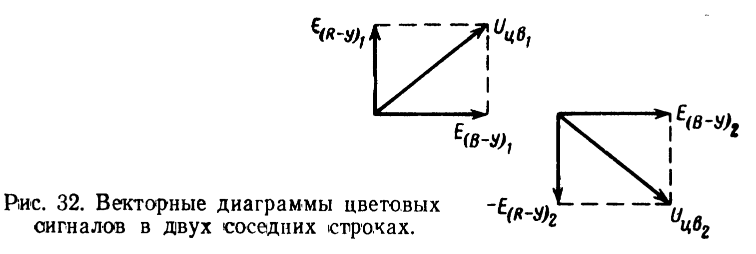


Рис. 32. Векторные диаграммы цветовых сигналов в двух соседних строках.

Векторы сигналов $E_{(B-Y)1}$ и $E_{(B-Y)2}$ равны по величине и имеют одинаковое направление. В результате сложения образуется сигнал удвоенной величины $2E_{(B-Y)}$ Если произвести вычитание $E_{(R-Y)2}$ и $E_{(B-Y)2}$ из $E_{(R-Y)1}$ и $E_{(B-Y)1}$, то образуется сигнал $2E_{(R-Y)}$. Процесс вычитания показан на рис. 33, *б*. Для большей наглядности на рис. 33, *б* показано не вычитание, а сложение сигналов $E_{(R-Y)1}$ и $E_{(B-Y)1}$ с сигналами $E_{(R-Y)2}$ и $E_{(B-Y)2}$, взятыми в противоположной полярности. В результате изменения полярности сигналов, изображенных на рис. 33, *а*, вектор $E_{(B-Y)2}$ оказывается противоположно направленным по отношению к $E_{(B-Y)1}$ и при сложении

* В первом варианте системы PAL применялись сигналы *I* и *Q*.

происходит их компенсация. Сигналы $E_{(R-Y)1}$ и $E_{(R-Y)2}$, складываясь, образуют сигнал $2E_{(R-Y)}$.

Таким образом, в приемнике, не прибегая к синхронному детектированию, можно осуществить разделение сигналов $E_{(R-Y)}$ и $E_{(B-Y)}$. Как отмечалось ранее, основной недостаток NTSC заключается в чувствительности к фазовым искажениям. Этот недостаток был следствием применения квадратурной модуляции. Фазовые ошибки, возникающие в тракте передачи сигнала, приводят к появлению перекрестных искажений. В приемнике PAL можно применять обычные детекторы, однако следует помнить, что на детекторы необходимо подавать восстановленную поднесущую. Стоимость детектора с восстановлением поднесущей примерно равна стоимости синхронного детектора. Поэтому в приемнике PAL применяются такие же син-

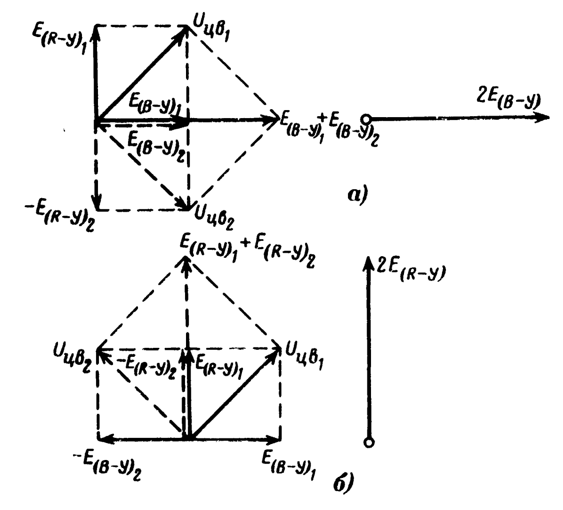


Рис. 33. Сложение (*а*) и вычитание (*б*) цветоразностных сигналов двух соседних строк.

хронные детекторы, что и в NTSC. Однако искажения цвета вследствие фазовых ошибок значительно уменьшены. Компенсация цветовых искажений в системе PAL поясняется на рис. 34. Предположим, что в результате фазовых искажений в тракте передачи произошел сдвиг квадратурно-модулированного сигнала относительно исходного положения на угол $\Delta\varphi$. На рис. 34, *а* показан вектор цветовой поднесущей $\mathbf{U}'_{цв1}$, сдвинутый по фазе относительно исходного вектора $\mathbf{U}_{цв1}$ на угол $\Delta\varphi$ против часовой стрелки. На рис. 34, *б* изображен сигнал следующей строки $\mathbf{U}'_{цв2}$, сдвинутой по фазе на угол $\Delta\varphi$ в том же направлении. Сложение сигналов цветности следует производить по правилам сложения векторов. Как видно из рис. 34, *в*, в результате сложения векторов $\mathbf{U}'_{цв1}$ и $\mathbf{U}'_{цв2}$ образуется результирую-

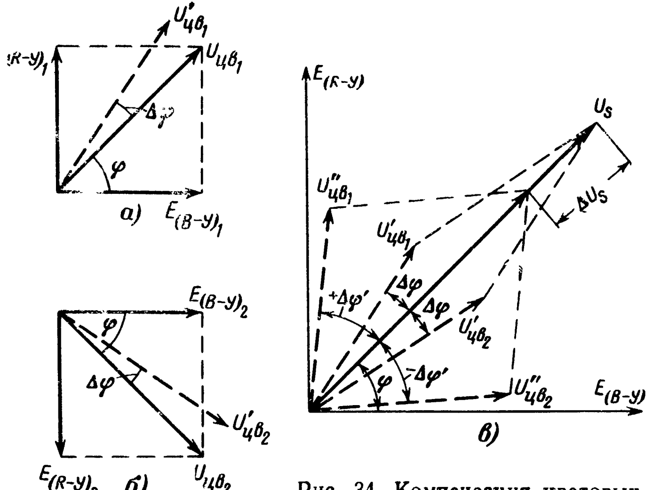


Рис. 34. Компенсация цветовых искажений в системе PAL.

щий вектор $\mathbf{U}_S$, величина которого приблизительно равна удвоенной величине исходных слагаемых, а направление совпадает с направлением исходного вектора. Компенсация фазового сдвига происходит независимо от величины Δφ: вектор, образующийся в результате суммирования, всегда будет совпадать по направлению с исходным. Однако его величина будет меняться при изменении величины фазовой ошибки. Это видно из рис. 34, *в*, где показано суммирование векторов $\mathbf{U}'_{цв1}$ и $\mathbf{U}'_{цв2}$ при угле фазовой ошибки Δφ' значительно большем Δφ. Как видно из рис. 34, *в* в этом случае результирующий вектор имеет тоже направление, однако его величина уменьшилась на $\Delta\mathbf{U}_S$. Таким образом, при больших фазовых ошибках компенсация оказывается неполной.

Кодирующее устройство PAL

Упрощенная схема кодирующего устройства системы PAL, иллюстрирующая принцип построения полного сигнала этой системы, показана на рис. 35.

Кодирующее устройство системы PAL содержит генератор цветовой поднесущей частоты 4,43 *Мгц*, матрицу, вырабатывающую из сигналов *R*, *G* и *B* сигналы *R—Y*, *B—Y* и *Y*, два модулятора и суммирующее устройство. Колебания цветовой поднесущей поступают на модулятор *B—Y* через фазовращатель, сдвигающий фазу на 90°. Колебания цветовой поднесущей на модулятор сигнала (*R—Y*) могут поступать либо непосредственно, либо через фазовращатель, изменяющий фазу на 180°. Переключение фазы цветовой поднесущей осуществляется с помощью электронного коммутатора, управляемого специальными коммутирующими импульсами строчной частоты. Переключение осуществляется таким образом, что в течение времени передачи одной строки фаза поднесущей равна нулю, а в течение следующей строки 180°. Модуляция сигналами *R—Y* и *B—Y* цветовой поднесущей осуществляется так же, как и в кодирующем устройстве

системы NTSC. Модулированные сигналы $R-Y$ и $B-Y$ смешиваются с сигналом Y в суммирующем устройстве.

Для правильной работы декодирующего устройства в приемнике необходима информация о фазе поднесущей сигнала $R-Y$.

Эта информация может передаваться вместе с сигналом $B-Y$, для чего на модулятор $B-Y$ в кодирующем устройстве необходимо подать сигнал цветовой синхронизации.

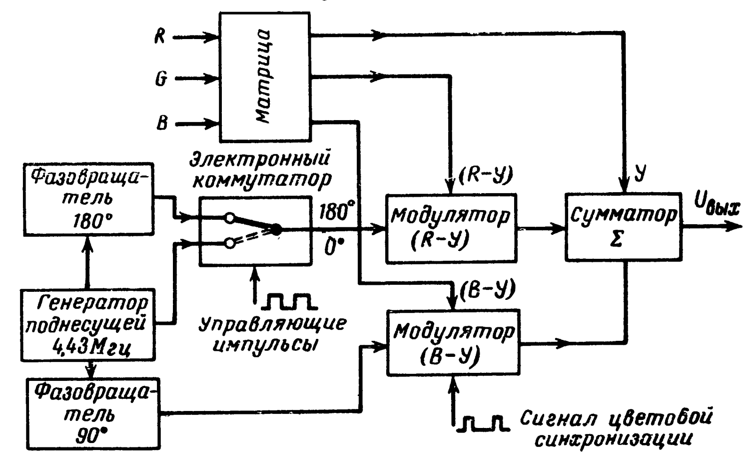


Рис. 35. Кодирующее устройство системы PAL.

Коммутатор фазы в кодирующем устройстве выполнен на диодах. Схема коммутатора изображена на рис. 36. Колебания поднесущей поступают на первичную обмотку трансформатора $Тр_1$. Трансформатор содержит две симметричные, бифилярно намотанные вторичные обмотки. Как известно, на концах обмотки трансформатора сигналы всегда находятся в противофазе. В цепь вторичной обмотки, к зажимам *1* и *4*, подключены диоды $Д_1$ и $Д_2$. Коммутирующие импульсы противоположной полярности поступают на зажимы *2* и *3*. Если на верхнюю обмотку поступает импульс положительной полярности, как это показано на рис. 36, то $Д_1$ отперт и сигнал поднесущей через конденсатор C и трансформатор $Тр_2$ поступает на выход. Диод $Д_2$ заперт импульсом отрицательной полярности. К моменту передачи следующей строки полярности коммутирующих импульсов меняются на противоположные. Диод $Д_1$ запирается, а диод $Д_2$ отпирается. На вход поступает сигнал с нижней обмотки (зажим *4*). При этом фаза сигнала поднесущей, поступающей на модулятор, меняется на противоположную.

Декодирующее устройство PAL

Упрощенная блок-схема одного из возможных вариантов декодирующего устройства системы изображена на рис. 37. Сигнал с видеоусилителя поступает на полосовой фильтр, с помощью которого происходит отделение сигналов цветности. Далее сигналы цветности подаются на суммирующее и вычитающее устройства и на синхронные детекторы сигналов $R-Y$ и $B-Y$. На синхронные детекторы от генератора поднесущей поступает также сигнал частоты

4,43 *Мгц*, восстановленной с помощью схемы, аналогичной применяющейся в приемнике NTSC. Фаза опорного сигнала поднесущей, подаваемого на синхронный детектор *B—Y*, отличается от фазы задающего генератора на 90°. Фаза опорного сигнала на синхронном детекторе *R—Y* периодически меняется на 180° от строки к строке с помощью коммутатора.

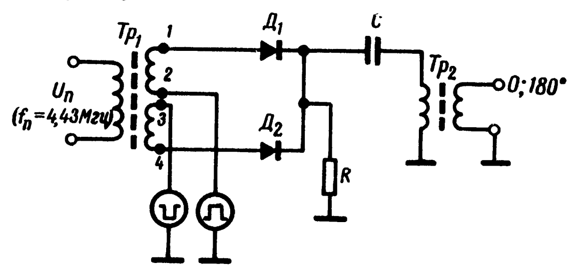


Рис. 36. Электронный коммутатор.

Переключение фазы опорного сигнала в канале *R—Y* должно осуществляться синфазно с переключением фазы поднесущей на модуляторе *R—Y* в кодирующем устройстве. Для установления синфазности переключения на коммутатор подаются специальные импульсы цветовой синхронизации. Необходимость переключения фазы поднесущей в приемнике объясняется следующим образом. Предположим, что передается *n*-я строка изображения с сигналом $E_{(R-Y)_n}$ положительной полярности. Тогда сигнал $E_{(R-Y)_{(n-1)}}$, передающийся в течение предыдущей $(n—1)$-й строки имел отрицательную полярность. Этот сигнал имеется на выходе линии задержки. Сложение сигналов, как показано на рис. 38,*а*, дает сигнал $2E_{(B-Y)}$ удвоенной амплитуды, а вычитание сигнала $U_{цв\ n}$ из $U_{цв\ (n-1)}$ (рис. 38, *б*) дает сигнал $2E_{(R-Y)}$ отрицательной полярности. При передаче следующей $(n+1)$ строки полярность $E_{(R-Y)}$ изменится на противоположную. Теперь будет происходить сложение сигнала $(n+1)$ с сигналом *n* строки, поступающим с линии задержки. Сложение сигналов $(n+1)$ и *n* строки (рис. 38, *б*) по-прежнему дает сигнал $2E_{(B-Y)}$, а вычитание сигнала $(n+1)$ строки из сигнала *n*-й строки (рис. 38, *в*) дает сигнал $E_{(R-Y)}$ положительной полярности. Таким образом, полярность сигнала *R—Y* меняется от строки к строке. Для правильного детектирования сигнала *R—Y* на его синхронный детектор необходимо подавать опорную поднесущую с фазой, меняющейся от строки к строке на 180°.

Правильное детектирование сигналов цветности в приемнике PAL возможно лишь при наличии прецизионной линии задержки. Однако существует вариант приемника PAL, в котором линия задержки не применяется вообще. Такой упрощенный приемник носит название PAL_s. Здесь индекс «s» произошел от английского слова simple — простой. В приемнике PAL_s вместо запоминания сигнала с помощью линии задержки используется память человеческого зрения. Принцип работы приемника поясняется на рис. 39.

Предположим, что передается сигнал $U_{цв1}$. Из-за фазовой ошибки произошел сдвиг вектора на $\Delta\varphi$ против часовой стрелки, и он

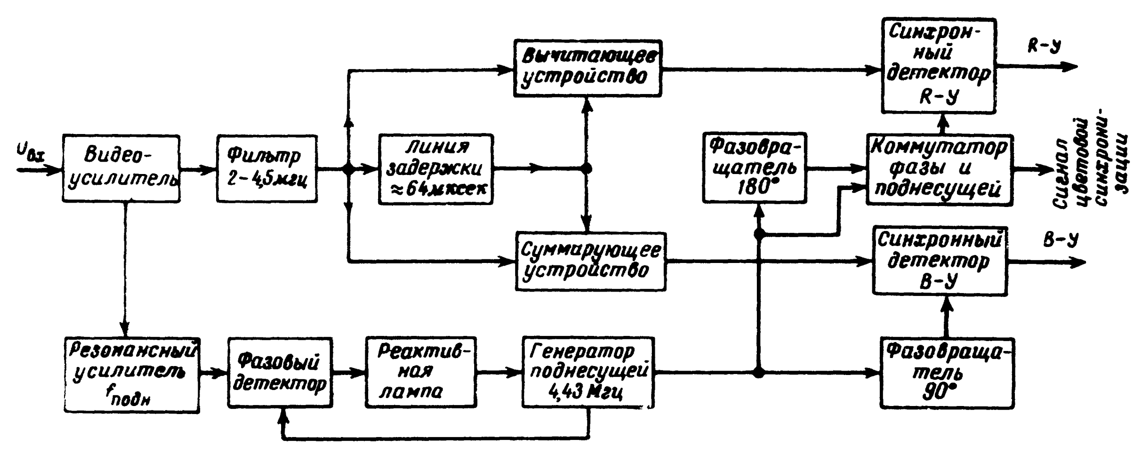


Рис. 37. Блок-схема декодирующего устройства.

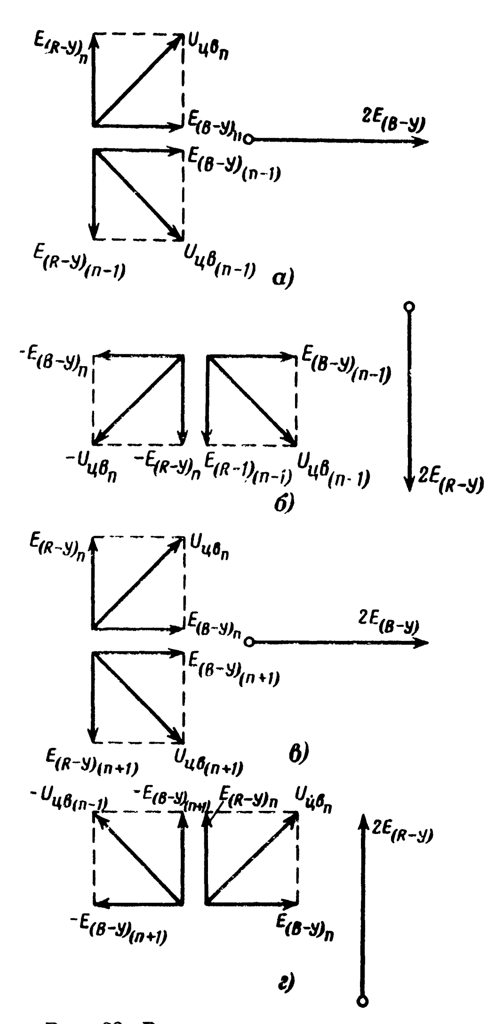


Рис. 38. Выделение сигналов цветности.

а — сложение сигналов $(n-1)$-й и n-й строк;
б — вычитание сигналов $(n-1)$-й и n-й строк;
в — сложение сигналов n-й и $(n+1)$-й строк;
г — вычитание сигналов n-й и $(n+1)$-й строк.

занял положение вектора $U'_{цв1}$. Вследствие изменения полярности составляющей $R—Y$ в кодирующем устройстве неискаженный сигнал $U_{цв2}$ и искаженный $U'_{цв2}$ следующей строки размещаются в 4-м квадранте. В приемнике из-за коммутации фазы поднесущей на синхронном детекторе происходит изменение полярности сигнала $R—Y$, что на векторной диаграмме представлено зеркальным обращением вектора $U'_{цв2}$ относительно оси $B—Y$. В результате образуется вектор $U''_{цв2}$. Сигналы $U'_{цв1}$ и $U''_{цв2}$ сдвинуты во времени друг относительно друга на 64 *мксек* (длительность строки). Однако вследствие памяти зрения и близкого расположения строк оба сигнала воспринимаются наблюдателем в виде суммы (вектор $U_{цв}$ на рис. 39).

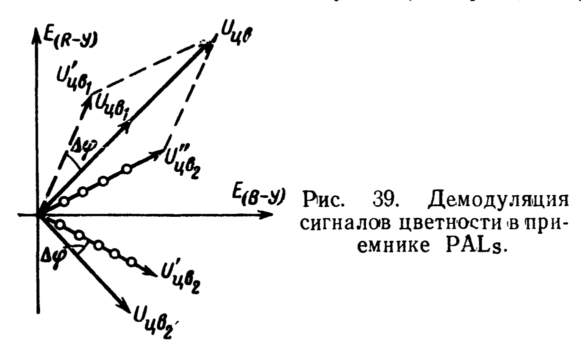


Рис. 39. Демодуляция сигналов цветности в приемнике PALs.

Такой способ демодуляции показывает хорошие результаты, если фазовые ошибки не превышают 25°. При больших искажениях становится заметной различная цветовая окраска строк, а также проявляется различие их яркости, особенно при воспроизведении желтого и голубых цветов.

Приемник PAL_s несколько проще и дешевле приемника с линией задержки. Особенно удобен такой способ детектирования при создании комбинированных приемников, способных работать как по системе PAL, так и NTSC.

Цветовая синхронизация

Сигналы, управляющие коммутатором фазы поднесущей, формируются с помощью триггера. Триггер запускается импульсами, поступающими с генератора строчной развертки во время обратного хода. Управляющие импульсы имеют прямоугольную форму и частоту следования, равную половине строчной частоты.

При включении приемника фаза импульсов, поступающих с триггера, может установиться произвольной, однако для правильной работы декодирующего устройства необходима вполне определенная фаза переключения коммутатора. Установление нужной фазы можно получить, введя цветовую синхронизацию, с помощью специальных сигналов, поступающих с передатчика.

В приемнике сигнал цветовой синхронизации выделяется с помощью стробирующей схемы, детектируется, и фаза образующихся прямоугольных импульсов сравнивается с фазой коммутирующих им-

пульсов. Если триггер работает в правильной фазе, то в работе приемника ничего не изменяется. При неправильной фазе вырабатывается корректирующий импульс, меняющий фазу работы триггера, которая в дальнейшем поддерживается автоматически.

Выбор частоты поднесущей

При рассмотрении системы NTSC отмечалось, что для получения компенсации сигналов цветности на экранах черно-белых приемников частота поднесущей выбирается равной частоте нечетной гармонике половины строчной частоты, т. е. $f_п = (2n—1)\ f_c/2$.

Точечные помехи, вызываемые цветовой поднесущей, компенсируются в зрительном аппарате человека за два кадра. В системе PAL такой метод компенсации неприменим. Дело в том, что изменение фазы сигнала E_{R-Y} на 180° от строки к строке и от кадра к кадру в сумме с поворотом фазы поднесущей на 180° (вследствие выбора частоты поднесущей) образует общий поворот фазы на угол, равный 360°. Поворот фазы на 360° эквивалентен его отсутствию. Таким образом, изменение фазы сигнала E_{B-Y} приводит к устранению компенсации поднесущей.

Эксперименты показали, что поднесущая частота в системе PAL наименее заметна, если она имеет сдвиг относительно четной (284-й) гармоники строчной частоты на 1/4 $f_{стр}$ плюс 25 *гц*.

Линия задержки

Для получения сигналов E_R, E_G и E_B в телевизионном приемнике необходимо иметь одновременно два цветоразностных сигнала E_{R-Y} и E_{B-Y}. Как уже отмечалось выше, в приемниках систем SECAM и PAL применяется для этой цели линия задержки.

Линия задержки должна обеспечивать задержку сигнала цветности, имеющего полосу частот около 3 *Мгц,* на время, равное $\tau_{зад}=T_{стр}=64$ *мксек*. Широко используемые линии задержки со сосредоточенными параметрами, состоящие из катушек индуктивности и конденсаторов, рассчитанные на пропускание таких широкополосных сигналов, удается выполнить на время задержки, практически не превышающее несколько микросекунд. Применение специальных кабелей задержки также нерационально. Например, специальный кабель задержки РКЗ-401 имеет время задержки, равное 0,7 *мксек* на метр длины. Поэтому для получения $\tau_{зад}=64$ *мксек* потребовалось бы 80 *м* кабеля, причем весь этот кабель нужно было бы уложить внутри приемника. По этой причине в приемниках систем SECAM и PAL применяются специальные малогабаритные ультразвуковые линии задержки.

Принцип работы ультразвуковых линий задержки основан на преобразовании электрических сигналов в ультразвуковые на входном конце устройства задержки и в обратном преобразовании ультразвуковых сигналов в электрические сигналы на выходном конце. Между входным и выходным устройствами размещается звукопровод. Материалом звукопровода могут служить как твердые тела (сталь, кварц, стекло), так и жидкости (вода, ртуть). Линии задержки, в которых в качестве звукопровода используются жидкости, менее удобны как в конструктивном отношении, так и в эксплуатации. Однако в связи с тем, что скорость распространения ультразвуковых колебаний в жидкой среде в несколько раз ниже, чем в твердой, ли-

нии задержки с жидкостным звукопроводом используются для получения больших задержек (порядка нескольких миллисекунд). Для задержки сигналов на время $\tau_{зад}=64$ *мксек* целесообразно с практической точки зрения использовать ультразвуковые линии задержки с твердым звукопроводом. Схема ультразвуковой линии задержки представлена на рис. 40. Входной сигнал поступает на усилитель *I*. Сигнал с этого усилителя через специальный согласующий трансформатор возбуждает пьезоэлектрический преобразователь *а*. Принцип работы пьезоэлектрического преобразователя основан на использовании широко известного явления пьезоэффекта. Пьезоэлектрический преобразователь осуществляет преобразование электрических колебаний в ультразвуковые, распространяющиеся в звукопроводящей среде. На приемном конце в пьезоэлектрическом преобразователе *б* осуществляется обратное преобразование ультразвуковых колебаний в электрические. Через согласующее устройство задержанный сигнал поступает на усилитель *II*.



Рис. 40. Схема ультразвуковой линии задержки.

Для получения неискаженного задержанного сигнала необходимо, чтобы пьезоэлектрические преобразователи одинаково эффективно осуществляли преобразование всех частот спектра. Однако пьезоэлектрические пластины обладают высокими преобразовательными свойствами в области частот, близких к резонансной частоте пьезоэлектрика. Особенно плохо осуществляется преобразование низкочастотных сигналов. По этой причине спектр сигнала путем модуляции обычно переносится в более высокочастотную область. В системах SECAM и PAL подлежащие задержке сигналы цветности находятся на поднесущей, т. е. они уже перенесены в высокочастотную область спектра. Детектирование сигналов цветности осуществляется после прохождения ими линии задержки.

В приемнике системы SECAM могут применяться линии задержки со стальным ультразвуковым волноводом прямоугольного сечения. Волновод представляет собой брус из мягкой стали квадратного сечения 11×11 *мм*, длиной 206 *мм*. На обоих концах стального волновода прикреплены керамические пьезоэлектрические преобразователи из титаната свинца. Титанат свинца не теряет своих пьезоэлектрических свойств вплоть до температуры +250°С. Это дает возможность присоединить преобразователи к стальному брусу с помощью пайки. Толщина преобразователей составляет 0,24—0,25 *мм*. При такой толщине резонансная частота преобразователей равна 4,4 *Мгц*, что соответствует частоте поднесущей.

В линии задержки могут возбуждаться как продольные, так и поперечные ультразвуковые колебания. При продольных ультразвуковых колебаниях (рис. 41, *а*) направление деформации преобразователя совпадает с направлением распространения ультразвуковой волны. На рисунке штриховой линией показан деформированный под воздействием приложенного напряжения пьезопреобразователь. Смещения поверхности преобразователя, припаянного к волноводу, вызывают продольные колебания волновода.

На рис. 41, б показан преобразователь, у которого деформация под действием электрического поля происходит в поперечном направлении (в направлении, перпендикулярном оси волновода). Этот вид колебаний имеет ряд преимуществ по сравнению с продольными. Главные из них заключаются в следующем:

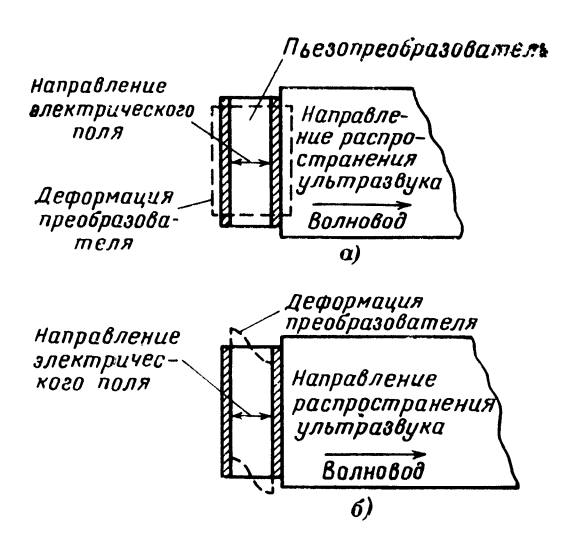


Рис. 41. Возбуждение продольных (*а*) и поперечных (*б*) колебаний в линии задержки.

1. Линии задержки с поперечными колебаниями обеспечивают более широкую полосу пропускания.

2. В такой линии меньше уровень паразитных сигналов, образующихся за счет отражения от стенок волновода и различных неоднородностей. Отраженные сигналы могут создавать своеобразное эхо.

В линиях задержки с поперечными колебаниями скорость распространения ультразвуковой волны вдоль волновода меньше, чем при продольных колебаниях. Это позволяет приблизительно в $\sqrt{3}$ раз уменьшить длину волновода.

При поперечных колебаниях обеспечивается более эффективная электромеханическая связь между пьезопреобразователем и волноводом.

Ввиду отмеченных преимуществ в линии задержки, применяемой в приемниках системы SECAM, используются поперечные колебания. Это линия характеризуется следующими основными параметрами. Линия задержки обеспечивает полосу пропускания 1,8 *Мгц* при неравномерности частотной характеристикой 3 *дб* (рис. 42). Ослабление, которое вносит линия задержки в полосе пропускания, составляет 19—22 *дб*. Уровень паразитных отраженных сигналов

не превышает 20 *дб* относительно уровня полезного сигнала. Входное сопротивление линии на частоте поднесущей составляет 80 *ом*, Входная емкость — 100 *пф*. Поскольку входное сопротивление линии низкое, сигнал подводится к линии через согласующий высокочастотный трансформатор.

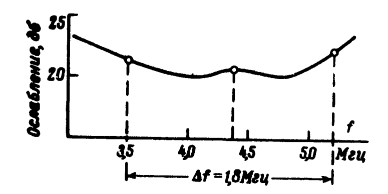


Рис. 42. Частотная характеристика линии задержки.

Требования к параметрам линии задержки в приемнике системы PAL более высокие. Так, например, допустимые погрешности времени задержки на несущей частоте не должны превышать $\pm 8 \cdot 10^{-9}$ *сек*. Допустимые изменения времени задержки при изменении температуры не должны выходить за пределы $\pm 5 \cdot 10^{-9}$ *сек*. Устройство линии показано на рис. 43. В отличие от линии задержки, применяемой в приемнике системы SECAM, волновод *1* выполнен из специально разработанного сорта стекла. Температурная нестабильность времени задержки обусловлена изменением температурного коэффициента линейного расширения стекла и изменением его упругих свойств с температурой.

Преобразователи в рассматриваемой линии задержки состоят из пластин *3* пьезоэлектрической керамики и электродов *2* и *4*, которые припаяны к верхней части стеклянного бруска.

Для увеличения входного и выходного сопротивлений линии задержки электроды разделены на две группы, которые соединяются между собой последовательно с помощью специальной перемычки. Входной преобразователь превращает электрические колебания в механические, которые распространяются по волноводу, достигают его нижнего торца и, отразившись, через некоторое время достигают выходного преобразователя. Направление распространения ультразвуковых колебаний показано на рис. 43 штриховой линией. Работа с отражением колебаний облегчает изготовление линии, так как это позволяет осуществить точную подгонку времени задержки линии. Так, например, удаётся изготовить линию со временем задержки 63,943 *мксек* с точностью $\pm 3 \cdot 10^{-9}$ *сек*.

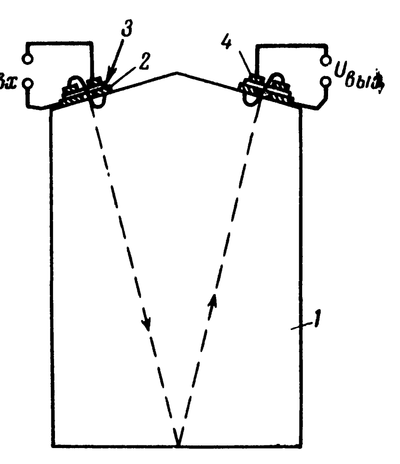


Рис. 43. Линия задержки для приемника PAL.

Рабочий температурный интервал линии задержки описанного типа —20÷+70°С. Уровень помех, вызванных паразитными отражениями в волно-

воде, на 22 *дб* ниже уровня полезного сигнала. Следует отметить, что такие высокие показатели линии задржки выполняются лишь при активном характере сопротивления источника сигнала (150 *см*) и при активной нагрузке в 150 *ом*.

Реактивный характер указанных сопротивлений или изменение их величин во времени приводят к ухудшению качественных показателей. Для обеспечения согласования входного и выходного сопротивлений в приемнике PAL применяется специальная согласующая схема. Таким образом, линия задержки в приемнике PAL более сложная, чем в приемнике SECAM.

СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ SECAM, NTSC И PAL

Чувствительность систем к частотным, фазовым и нелинейным искажениям

При сравнении систем цветного телевидения следует учитывать, что все основные системы в лабораторных условиях дают высокое качество изображения. Однако в лабораторных условиях оцениваются в основном потенциальные возможности системы.

В реальных условиях качество изображения в основном зависит от искажений, возникающих в тракте передачи. Поэтому действие искажений в тракте передачи на качество изображения играло весьма важную роль при выборе системы европейскими странами. Основные искажения, вносимые трактом передачи, следующие:

1. Неравномерность частотных и фазовых характеристик.
2. Ограничение верхней боковой полосы сигналов цветности вследствие недостаточной ширины пропускания канала связи.
3. Искажения типа «дифференциальное усиление» и «дифференциальная фаза».

При неравномерности частотной характеристики изменяется соотношение между размахом яркостного сигнала и поднесущей. В системах, в которых используется амплитудная модуляция, т. е. NTSC и PAL, это приводит к искажению насыщенности цвета. В системе SECAM применяется частотная модуляция. Неравномерность частотной характеристики в области поднесущей приводит к паразитной амплитудной модуляции, которая устраняется в амплитудных ограничителях приемника. В этом отношении SECAM имеет значительные преимущества перед NTSC и PAL.

Ограничение верхней боковой полосы сигнала цветности — весьма распространенный вид искажений. Следует отметить, что наиболее чувствительной к искажениям такого типа является NTSC. Проведенные эксперименты показали, что в этом отношении системы SECAM и PAL обладают существенными преимуществами.

Неравномерность фазовой характеристики возникает вследствие передачи сигналов с частично подавленной боковой полосой, из-за резких изломов частотной характеристики. Это приводит к появлению цветовых окантовок и размытости границ. Опыты показали, что искажениям данного типа подвержены все системы.

Другим видом искажений, которым подвержены системы NTSC и PAL, являются искажения типа «дифференциальное усиление». Этот тип искажений вызывается нелинейностью амплитудной характеристики отдельных звеньев тракта передачи. Хотя большинство усилительных звеньев на передающем телецентре и в телевизионном приемнике настраивается таким образом, что нелинейные искажения практически отсутствуют, некоторые элементы все же имеют замет-

ную нелинейность амплитудной характеристики. К ним можно отнести модуляционную характеристику радиопередатчика, изображенную на рис. 44. Модуляционная характеристика представляет собой зависимость уровня высокочастотного сигнала на выходе передатчика от напряжения видеосигнала. При передаче сигналов цветного телевидения сигнал цветовой поднесущей накладывается на яркостный сигнал, как это показано на рис. 44. Такой испытательный сигнал соответствует случаю передачи изображения, содержащего сту-

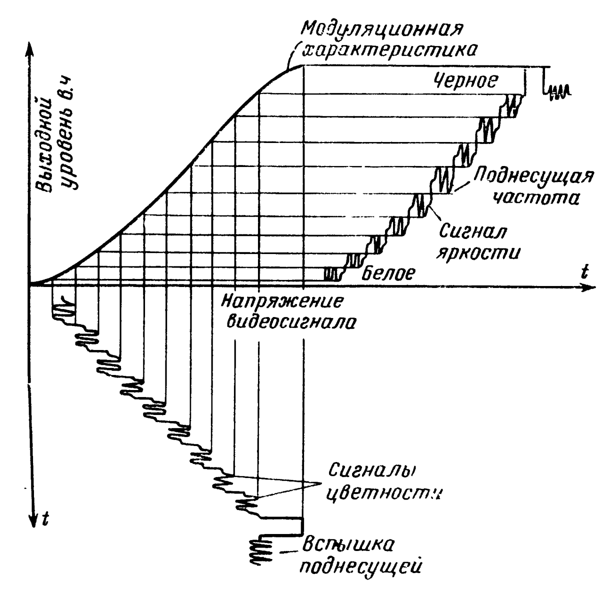


Рис. 44. Возникновение искажений типа «дифференциальное усиление» в модуляторе передатчика.

пени яркости от белого до черного с наложенными сигналами цветности. В результате нелинейности модуляционной характеристики напряжение сигналов цветности оказывается зависимым от уровня сигнала яркости. Под дифференциальным усилением следует понимать критизну в данной точке модуляционной характеристики. Каждой точке на модуляционной характеристике (рис. 44) соответствует свое дифференциальное усиление, что приводит к изменениям размаха сигналов цветности. Кроме модулятора передатчика, подобные искажения могут вносить и другие звенья телевизионного тракта.

Искажения типа «дифференциальное усиление» проявляются на изображении в системе NTSC в виде паразитного изменения насыщенности передаваемого цвета в зависимости от яркости. Так как в системе SECAM применяется частотная модуляция поднесущей, изменение ее амплитуды не приводит к искажениям цвета, потому что возникшая паразитная амплитудная модуляция устраняется в ограничителе приемника. Искажение градаций в яркостном сигнале приводит к искажению насыщенности в изображении, но значительно меньшему, чем в NTSC. Система PAL в отношении искажений

типа «дифференциальное усиление» не имеет преимуществ перед NTSC, так как в ней применяется тот же метод модуляции поднесущей. Допуски на искажение типа «дифференциальное усиление», установленные экспериментально, составляют для NTSC и PAL 30—40%, а для SECAM 65—70%.

Другим видом искажений, приводящим в системе NTSC к искажениям цветного тона передаваемых деталей изображения, являются искажения типа «дифференциальная фаза».

Для оценки влияния этого вида искажения рассмотрим процесс разделения сигналов цветности в приемнике NTSC. Как уже отмечалось, разделение сигналов цветности в приемнике NTSC осуществляется путем синхронного детектирования. Для этого на детекторы кроме сигналов E_I и E_Q подаются вспомогательные синусоидальные сигналы, обозначенные на рис. 45, *а*, через *I* и *Q*. Эти синусоидальные сигналы имеют одну и ту же частоту, но сдвинуты по фазе на 90° (рис. 45, *а*). Для идеального разделения сигналов необходимо, чтобы опорное напряжение *I* точно совпадало по фазе с сигналом E_I, а *Q* — с сигналом E_Q.

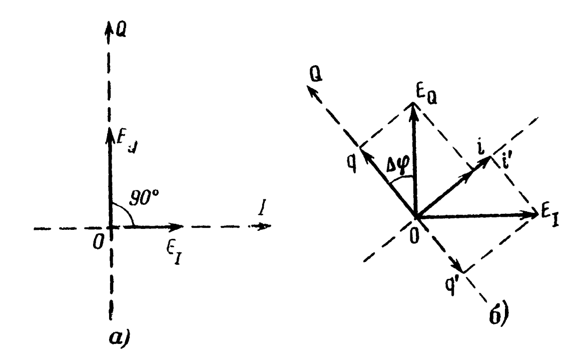


Рис. 45. Перекрестные фазовые искажения в системе NTSC.

а — идеальный случай работы синхронных детекторов; *б* — паразитный фазовый сдвиг Δφ за счет искажений типа «дифференциальная фаза».

Для получения вспомогательных напряжений *I* и *Q* поднесущей частоты в приемнике используется кварцованный генератор, синхронизируемый сигналом вспышки. Однако вследствие ошибок в восстановлении фазы поднесущей возможен сдвиг векторов **Q**—$\mathbf{E}_Q$ и **I**—$\mathbf{E}_I$. На рис. 45, *б* этот сдвиг обозначен как Δφ. При наличии отмеченного фазового сдвига сигнал на выходе детектора канала цветности *Q* пропорционален проекции *oq* вектора $\mathbf{E}_Q$ на ось *Q*. Таким образом, часть сигнала E_Q из-за наличия фазового сдвига попадает в канал *I*. Эта проекция отмечена на рисунке как *oi*.

Аналогичным образом сигнал E_I можно разложить на две составляющие, одну *oi'*, параллельную оси *I*, а другую *oq'*, параллельную оси *Q*. Таким образом, в канале *I* мы будем иметь на выходе детектора сигнал E_I и помеху — часть сигнала E_Q, а в канале *Q* — полезный сигнал E_Q и помеху — часть сигнала E_I. Такие перекрест-

ные искажения заметны на изображении, если фазовый сдвиг $\Delta\varphi$ превышает 10°—12°. Так как фазовые сдвиги возникают в нескольких звеньях тракта передачи, то в приемнике допускается фазовый сдвиг порядка 5—7°.

При наличии искажений типа «дифференциальная фаза» возникают паразитные сдвиги фазы цветового сигнала, величина которых зависит от уровня сигнала яркости относительно сигнала вспышки, передаваемого на вершине гасящего импульса. Фазовые сдвиги, зависящие от уровня яркостного сигнала, могут возникать в самых различных звеньях канала связи — усилителе, модуляторе, передатчике, везде, где могут возникать нелинейные реактивные цепи. В качестве примера возьмем простую нелинейную RC-цепь (рис. 46), у которой выходная емкость конденсатора C постоянна, а активное сопротивление резистора R зависит от приложенного к нему напряжения. В реальных случаях такая зависимость может иметь место из-за появления сеточных токов, изменения усиления в каскаде за счет нелинейности характеристик лампы и пр.

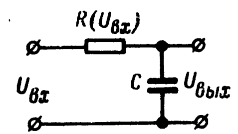


Рис. 46. Нелинейная реактивная цепь.

При подаче на вход такой цепочки полного сигнала цветного телевидения, работающего по принципу квадратурной модуляции, цветовой тон различных мест изображения будет меняться в зависимости от мгновенного значения сигнала яркости. Пусть, например, сигнал яркости представляет собой ступенчатое напряжение, на ступеньках которого расположен сигнал цветности (на поднесущей f_c). Как показано на рис. 46, сдвиг фаз в нелинейной цепочке определяется выражением

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\omega C}{R},$$

и если R зависит от величины $U_д$, то φ будет также зависеть от напряжения сигнала яркости.

В системе NTSC фазовые соотношения в сигнале цветности несут информацию о цветовом тоне. Таким образом, искажения типа «дифференциальная фаза» ведут к неправильной передаче цветового тона.

Экспериментально установлены следующие допуски на искажения типа «дифференциальная фаза»: NTSC — от ±12 до ±20°, SECAM и PAL — от ±40 до ±50°.

Совместимость систем

В связи с тем, что черно-белое телевидение получило широкое распространение и количество телевизионных приемников велико, совершенно ясно, что в течение ряда лет как цветное, так и черно-белое телевидение будет существовать одновременно. При этом важно, чтобы цветное изображение на экранах черно-белых приемников было возможно более высокого качества. Сигналы цветности образуют на экране черно-белого приемника помеху в виде мелкой сетки.

Ее мешающее действие меньше всего заметно в системе NTSC. Это объясняется прежде всего точечным перемежением сигналов цветности на экране приемника и подавлением поднесущей частоты в балансных модуляторах кодирующего устройства телевизионного центра. При передаче черно-белых участков изображения в системе NTSC сигналы цветности совсем отсутствуют.

В системе SECAM из-за применения частотной модуляции поднесущая частота сигналов цветности не может быть полностью подавлена. Так как частота поднесущей выбрана кратной строчной частоте, отсутствует и частотное перемежение. Для устранения мешающего действия сигналов цветности в системе применяется коммутация фазы поднесущей. Наивыгоднейший порядок чередования фазы был определен экспериментальным путем. Это мероприятие не приводит к полному устранению заметности помехи из-за того, что в системе SECAM в двух смежных кадрах на одной и той же строке передаются разные цветовые сигналы. Однако предыскажение сигналов цветности позволяет существенно уменьшить заметность помехи на экране черно-белого приемника.

В системе PAL коммутация фазы сигнала цветности ухудшает совместимость системы, и она оказывается несколько хуже, чем в NTSC. Однако эксперименты по сравнению совместимости систем NTSC, SECAM и PAL, проведенные в СССР и за рубежом, показали, что в реальных условиях передачи совместимость систем практически одинакова.. Особенно это справедливо при наличии флуктуационных помех. Следует отметить, что цветное телевидение будет постепенно вытеснять черно-белое и важность данного показателя будет постепенно снижаться.

Сложность приемников различных систем

Важными качествами внедряемой системы являются простота, надежность и возможно меньшая стоимость телевизионного приемника. Практически приемники различных систем цветного телевидения отличаются только блоками цветности и сравнение сложности приемников можно проводить только по этому блоку.

Для получения высококачественного разделения сигналов цветности в приемнике NTSC требуется точное поддержание фазы генератора, вырабатывающего сигнал для синхронного детектирования. При наличии сдвига фазы между сигналом поднесущей, восстановленной в приемнике, и передаваемыми сигналами цветности возникают перекрестные искажения, заключающиеся в частичном прохождении сигнала E_Q в канал I и сигнала E_I в канал Q. При перекрестных искажениях нарушается правильность воспроизведения цветового тона передаваемых изображений. Для получения требуемой стабильности восстановленной поднесущей частоты в приемнике NTSC применяется генератор, стабилизированный кварцем.

В приемнике SECAM нет синхронных детекторов, а следовательно, нет необходимости восстанавливать сигнал цветовой поднесущей. Однако в блоке цветности имеются частотные детекторы, линия задержки, электронный коммутатор и схема цветовой синхронизации. В результате сложность блоков цветности приемников в системе NTSC и SECAM получается приблизительно одинаковой. Существенно, что в приемнике SECAM нет необходимости в обязательной регулировке цветового тона, что упрощает его эксплуатацию. Важно также, что в приемнике SECAM не требуется такого

точного поддержания параметров отдельных узлов, как в NTSC, что улучшает стабильность работы приемника и упрощает его настройку.

Приемник системы PAL содержит и синхронные детекторы и линию задержки, причем стабильность времени задержки в приемнике PAL должна быть выше, чем в системе SECAM. Сроимость приемников цветного телевидения в основном определяется стоимостью кинескопа. По данным заграничной печати стоимость приемника PAL выше стоимости приемника NTSC приблизительно на 4%, а приемника системы SECAM — на 2,5%.

Возможность записи на видеомагнитофон

Для записи сигналов системы NTSC на видеомагнитофон необходимо специальное дополнительное оборудование. В основном усовершенствования требует лентопротяжный механизм видеомагнитофона. Запись сигналов системы PAL осуществляется проще, чем NTSC. Для записи сигналов системы SECAM может быть применен видеомагнитофон, предназначенный для записи сигналов черно-белого телевидения.

Преимущество системы SECAM при записи сигналов на видеомагнитофон является весьма существенным.

ОГЛАВЛЕНИЕ

O

R G B R

$T_к = \frac{1}{50}$ СЕК $\frac{1}{50}$ СЕК $\frac{1}{50}$ СЕК

$T_ц = \frac{3}{50}$ СЕК $T_ц$

21 к

